



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE  
MORELOS**

---

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES



**Análisis de la variación de temperatura y precipitación y su efecto  
en la fenología del aguacate, en dos zonas productoras de Morelos**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y  
TECNOLOGÍAS SUSTENTABLES**

PRESENTA

**Lic. en C.A. Karen Fernanda Arrieta Aguilar**

**ASESOR: DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA**

**CO-ASESOR: DR. HÉCTOR SOTELO NAVA**



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

CUERNAVACA, MORELOS

NOVIEMBRE, 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería

Secretaría de Investigación y Posgrado

FORMATO T-2  
NOMBRAMIENTO DE COMISIÓN REVISORA  
Y DICTAMEN DE REVISIÓN

Cuernavaca, Mor., a 5 de noviembre de 2020.

**DR. OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES**  
**MTRA. ELIZABETH MILLÁN BENÍTEZ**  
**DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA**  
**DR. HÉCTOR SOTELO NAVA**  
**DR. FRANCISCO PERDOMO ROLDÁN**  
**PROFESORES DE LA FCQeI**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto, me permito informarle que ha sido asignado como integrante de la Comisión Revisora de la tesis que presenta la LIC. KAREN FERNANDA ARRIETA AGUILAR titulada: "Análisis de la variación de temperatura y precipitación y su efecto en la fenología del aguacate, en dos zonas productoras de Morelos", realizada bajo la dirección de la DRA. JESÚS DEL CARMEN PERALTA ABARCA en el Programa Educativo de Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables. Agradezco su valiosa participación en esta Comisión y quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto.

**A T E N T A M E N T E**  
*Por una humanidad culta*

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**Encargada de Despacho de la Dirección de la FCQeI**

**D I C T A M E N**

**DRA. VIRIDIANA AYDEÉ LEÓN HERNÁNDEZ**  
**Encargada de Despacho de la Dirección de la FCQeI**  
**P R E S E N T E**

En respuesta a su amable solicitud para formar parte de la Comisión Revisora de la tesis mencionada y una vez realizada la revisión correspondiente, me permito informarle que mi VOTO es:.

**DICTAMEN**

NOMBRE	VOTO	FIRMA
Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres		
Mtra. Elizabeth Millán Benítez		
Dra. Jesús Del Carmen Peralta Abarca		
Dr. Héctor Sotelo Nava		
Dr. Francisco Perdomo Roldán		

Se anexan firmas electrónicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**VIRIDIANA AYDEE LEON HERNANDEZ | Fecha:2020-11-06 10:44:20 | Firmante**

j50A/VZKctR14Fgrv8JN6ub+8WPTM/v0IM/RTVA/nZ+2k5YV1TqDbByi839ZkkgNcreLEfyqt23Xh7/DXmsUc1zT0EpNagof3zK+EnLJTJssrevZH83FMZMY0T5A5XhsFBtGnZxV3me/tw1lJo4qEW/FK/Z3FFqz3tT1JH2La/RYZHZ08PH5EJGgZlyLozKTe8a67wjlUgwKJWPvsv9GcAXTIqa8+SgAp6banm/hg5AHHoZcOItSO6YmJm1TZHzGURDSxgeVOuNZjZQ4cD2/fS9/ZQBbylYqk7CMMelXi6gkVC9pPFzORY3VgmghzJWDuanBI3k2yQHWgiWCL9lyKQ==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



6GVwlu

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/JkoBeV8GGc8kCuhzDR2dSfS9QCGIMRV5>





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

### Sello electrónico

**ELIZABETH MILLAN BENITEZ | Fecha:2020-11-06 13:02:53 | Firmante**

F0tHvZZzYncSk4Hlf+cqz0vyKQuqKoSakTJsZ2TaAA7rfvniKiMea1CimhLx+w2AQ09slJOYuZcHbBlnNnQ9ZNEFZBVJoMxv8ucGBgubdh3v6kb9BotgJk95uyMsrteQLRbEYbFgt+c0NtMBjLrJmjlXNL/Cisif/Z5HLblKs7nNAaiRIsQbdjeSjCdJ+zzyotzAPnCHcgywXkyCSXx11Rj7Qml1TML480MvY1BSwHbYtCKTaKm6fE5TtvVg/cSvMto4QbCRQN6kEs1R92qq/Pe r4Ep5CJRGU9YJUzZwAy+s5qw5SLStzxsghB9GE7Fix5hoK6tJ/cVmZazxuHq8xg==

**HECTOR SOTELO NAVA | Fecha:2020-11-06 18:52:19 | Firmante**

a/KS9T2pw2yC4IO4hCUrq+hBBRQlq2q8qMIOjM1sEaAwHU976Pu8vSroF5oijTaEeC3VDVPW0XOKDIBVwzP6KiLAQtlKPBCLBZw73GcJWsGd+dcR8vcrIvfn6kEVoPiqBRUXWbjxwAsFB4fVj5YoeHsca1mJbzJHhFww9XpDEt7/2Ik8VlrM0o3yhmUDXw7lrm+X0uxotfFJNoRGU5QvSRA82MRwknAQB0RwRyRuHGxg0PNKJV9s0KkCAzNegaLSbBLlxjakapSgTqXs4P3+KLS0+Bu1i8iG3Z5n+SXCHAXSGApVPM+2IFDS8mRxQN2qBY6uG6MaK4Rxe0g4TbA==

**JESUS DEL CARMEN PERALTA ABARCA | Fecha:2020-11-06 21:45:10 | Firmante**

w7s8XkspIVozONCPg28iBjHRG+UCJEO1DcrjBRROeoLjdawRgBV6ptB8rqyEO7WTFgXkbzJJoKfelRhiWvmtmZeVuvGcMmpeJTQRXcXsOSoMN+erngp4AlmjJxWBXI7RzEFnP30zFzOcdZkizVLXErz3MBj5fumh+u2nMaQrX920sH7NB8dBUwP2BKqmyALRCjRkVrZKUADU0YD7r6uyOW0SDyEp6hcZgYsHi5SROA2q5gKmk8HqRz0bVvtAMI0Hy17IU4IQ5R52/0emgNOV3+CTkHonuaExDLO4btE+6B1gN/tLxpyn2dYgdAv0wMFQw8V0gdohmEXiz50C+bMhQ==

**OSCAR GABRIEL VILLEGAS TORRES | Fecha:2020-11-08 00:29:56 | Firmante**

j9U7ovRjJqJvXPT/ODEyHFIVoVnk1aBK0BSfYceYmrgl3eJlbO+MnJcuEyoFUGH3eCCvUkPNpSGlkdzRZGKxNABgqxu43wM+oXD0uHbrwGnd+p8ELf8ae8RepRWE3H6Ea1hVl6iz81kB1ciJDz8XNxdR30HV+OVNh5nupfdhZlV/HT5HvVZmugyCeZVJICEVj749FazP9JcpsRUluX2CjUMmfkd9Q8PsDGlydkivik7SOkJ5CruCCN1MeZi7HQsA5XWYv2BY0MqW1M/blwweMvwmGcCLkxyA9+IN/9tFPAwdbCWU8cxz5vOonMsUaGUhznrAvkGQcfm20AjePw==

**FRANCISCO PERDOMO ROLDAN | Fecha:2020-11-09 11:56:40 | Firmante**

qIkNUIVD4hxl+G24ruO4PY0mKl3qj6hvdnfdCms+zNRQHISrLmkiwZma5XtkHkA72krfgsmEPHTKqE0yyOMCdg3OtB6dkqtMrbUaU8Vq2jaoFV3hJXQgWj2Ue184MaFRA/GIhj5UnER5ek1NTCSXiB5fhKTDx/wOpQx8bC3qmm3i1bxDEqqAij3WeyhIAPu8muBGaYoPz1gw9UMERk0uqmqPDLxYdlXmo+B6PTJTP8ivN2sW+/vi+SkwRH0NpQ63l8ikbl7kFI7VIn+z7Mg+nXU852lyeAZAEgR4TtCTcKvAUv48qyvB0XjwMwUDASC7uAT2ezypIRkxRtg5VwA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



sHbvwx

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/NL2vHYYPICW2ux6Wm5IU11BpXCISVZ5>



El presente proyecto de investigación de tesis del Programa de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables (MIATS) fue realizado en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos como Centro de Investigación, bajo la dirección de la Dra. Jesús del Carmen Peralta Abarca y co-dirección del Dr. Héctor Sotelo Nava. Con el apoyo financiero del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).



## COMITÉ REVISOR

Dra. Jesús del Carmen Peralta Abarca

Dr. Héctor Sotelo Nava

Dr. Oscar Gabriel Villegas Torres

Dr. Francisco Perdomo Roldán

Mtra. Elizabeth Millán Benitez



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la UAEM por otorgarme la oportunidad de estudiar la Maestría en Ingeniería Ambiental y Tecnologías Sustentables y continuar con mi desarrollo profesional. Así mismo, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por proporcionarme la beca para estudios de posgrado durante estos años, la cual me permitió desarrollar y concluir mi proyecto de investigación.

De manera especial agradezco al personal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) quienes proporcionaron los registros necesarios para desarrollar la presente trabajo, así como a cada uno de productores de las huertas de aguacate que fueron los sitios de estudio, por permitirme obtener los datos y tener siempre la mejor disposición.

Aprovecho para agradecer a quienes fueron los codirectores de este proyecto de investigación, la Dra. Jesús del Carmen Peralta Abarca quien me brindó la oportunidad de emprender mi camino en la investigación científica bajo su tutela, por su dirección, paciencia y acompañamiento durante todo el proceso; y al Dr. Héctor Sotelo quien me permitió recurrir a su capacidad, experiencia y conocimiento científico, así como por su compromiso con la investigación, brindándome en todo momento las herramientas y apoyo para llevarla a cabo satisfactoriamente.

A los miembros de mi comité de evaluación al Dr. Óscar Villegas por su análisis y reflexión crítica en todo momento para fortalecer cada uno de los aspectos de la investigación; al Dr. Francisco Perdomo por su valiosa contribución para desarrollar los métodos de análisis estadísticos; y a la Mtra. Elizabeth Millán por la dedicación, disposición e interés en cada avance del proyecto.

Agradezco al Dr. Daniel López y al Biól. Felipe Martínez por su apoyo para la toma de los datos requeridos para el presente estudio y por los buenos ánimos para seguir adelante en este proceso.

A mis papás Gerardo y Nohemí, que como siempre, están presentes apoyándome en cada paso que doy, alentándome a crecer y mejorar en cada aspecto de mi vida y por darme todo para ser la persona que soy hoy.

A mi sobrino Manu que se ha convertido en mi fuente de inspiración para todo lo que hago. Igualmente a mis abuelitos que me han enseñado a superar todas las adversidades y sobre todo a vivir con alegría y amor.

También agradecer a mi equipo maravilla, mis hermanas Eunice y Rocío por su compañía y apoyo incondicional y mis cuñados Juan y Alfredo que han estado presentes durante este camino dándome su apoyo.

A todos mis compañeros de la maestría de quienes aprendí mucho, especialmente quiero agradecer a mi amigo Diego, por compartir conmigo esta travesía, sufriendo las horas de desvelo y trabajo duro, pero también disfrutando los momentos de bromas y risas, definitivamente eso ayudó a que este viaje fuera mucho más divertido y ameno.

A todos aquellos que durante este tiempo se han mantenido a mi lado, dándome palabras de aliento, consejos, una sonrisa, o haciéndome compañía en los momentos difíciles, sin todos ustedes esto no hubiera sido posible.



ÍNDICE	
CAPÍTULO 1 .....	1
I.1 INTRODUCCIÓN .....	1
I.2 ANTECEDENTES .....	2
I. 3. MARCO TEÓRICO .....	5
I.3.1 El clima .....	5
I.3.1.1 Factores del clima .....	5
I. 3.1.2 Elementos del clima .....	7
I.3.2 El Clima desde la perspectiva de Enriqueta García.....	7
I.3.3 Fenómeno del Niño y la Niña.....	8
1.3.4 Efecto Invernadero.....	9
I.3.4 Cambio climático.....	10
I.3.4.1 Vulnerabilidad .....	11
I.3.4.2 Cambio climático y seguridad alimentaria .....	13
I.3.4.3 Impactos en la Agricultura .....	14
I.3.5 El cultivo del aguacate.....	16
I.3.5.1. Características botánicas .....	17
I.3.5.2 Requerimientos Edáficos y Climáticos. ....	18
I.3.5.3 Agrohábittats .....	19
I.3.5.4 Fenología .....	19
I.3.5.4.1 Fenología del aguacate .....	20
I.3.5.5 Importancia a nivel Internacional del aguacate .....	21
I.3.5.6 Industrialización del aguacate .....	22
I.3.5.7 Importancia del aguacate en México .....	23
I.3.5.8 Importancia del aguacate en Morelos .....	25
CAPÍTULO 2 .....	26
II.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
II.2. JUSTIFICACIÓN .....	27
II.3 OBJETIVOS .....	28
II.3.1 Objetivo General .....	28
II.3.2 Objetivos específicos .....	28
CAPÍTULO III .....	29
III.1 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL .....	29



III.1.1 Delimitación del estudio .....	29
III.I.1.1 Área de estudio .....	29
III.I.1.2 Elementos climáticos a analizar .....	30
III.I.1.3 Temporalidad.....	30
III.I.1.4 Fenología .....	30
III.I.2 Esquema de las etapas a seguir.....	31
III.1.3 Descripción de las etapas .....	32
III.1.3.1. Etapa 1. Condiciones del manejo y desarrollo.....	32
III.I.3.2 Etapa 2. Condiciones de Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa.....	32
III.1.3.3 Etapa 3. Fenología .....	36
III.1.3.4 Etapa 4. ....	37
CAPÍTULO 4 .....	38
IV.1 . RESULTADOS .....	38
IV.1.1. Agro hábitats de los sitios de estudio .....	38
IV.1.2 Manejo del cultivo .....	40
Control integrado de plagas y enfermedades .....	41
IV.1.3 Obtención de registros históricos y actuales.....	43
IV.1.4. Análisis de los registros históricos .....	44
IV.1.4.1 Climogramas.....	44
IV.1.4.2 Temperaturas máximas y mínimas .....	45
IV.1.4.2.1 Temperatura máxima.....	46
IV.1.4.2.2 Temperatura mínima.....	50
IV.1.4.2.3 Precipitación .....	54
IV.1.5 Registro de temperatura y humedad relativa en los sitios de estudio .....	61
IV.1.6 Estudios fenológicos.....	63
IV.1.7 Fenología del aguacate en Morelos .....	65
IV.1.8 Relación con el cultivo de aguacate.....	68
IV.1.9 Producción de aguacate en Cuernavaca y Tetela del Volcán .....	71
IV.2 DISCUSIÓN.....	74
CAPÍTULO V .....	78
V.1 CONCLUSIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA .....	80



ANEXOS .....	89
--------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones antropógenas anuales de GEI totales (GtCO <sub>2</sub> eq/año) por grupos de gases, 1970-2010: CO <sub>2</sub> procedente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales; CO <sub>2</sub> procedente de la silvicultura y otros usos del suelo (FOLU); metano (CH <sub>4</sub> ); óxido.....	10
Figura 2. Componentes de Vulnerabilidad actual y futura de acuerdo con el concepto de IPCC (2007).....	12
Figura 3. Proceso metodológico a seguir .....	31
Figura 4. Huerta 1. Chamilpa, Cuernavaca. ....	38
Figura 5. Huerta 2. Ahuatepec, Cuernavaca. ....	38
Figura 6. Huerta 3. Tetela del Volcán. ....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Periodos para el análisis de las modificaciones de las variables climáticas.....	32
Tabla 2. Índices utilizados para el análisis de los registros históricos en Cuernavaca y Tetela del Volcán.....	34
Tabla 3. Clasificación para el índice Modificado de Fournier .....	35
Tabla 4. Clasificación para el Índice de Concentración de la Precipitación .....	35
Tabla 5. Descripción de los agrohábittats de los sitios de estudio.....	39
Tabla 6. Fenología del aguacate en los estados productores de México .....	63
Tabla 7. Características de las estaciones meteorológicas seleccionadas .....	43
Tabla 8. Promedio de las temperaturas máximas y mínimas de las dos localidades de estudio.....	45
Tabla 9. Precipitación por año en los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán.....	54
Tabla 10. Resultados del IMF de Cuernavaca y Tetela del Volcán. ....	59
Tabla 11. Resultados del ICP en Cuernavaca y Tetela del Volcán .....	60
Tabla 12. Base de datos fenológicos correspondiente al árbol 2, oeste; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Tabla 13. Requerimientos de temperatura y precipitación para el aguacate .....	69
Tabla 14. Producción y rendimiento de aguacate en el municipio de Cuernavaca (Riego + temporal).....	71
Tabla 15. Producción y rendimiento de aguacate en Tetela del Volcán (riego+temporal) ..	72



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de unidades de producción con problemas para desarrollar la actividad agropecuaria y forestal. Fuente: (INEGI, 2007).....	16
Gráfico 2. Producción/rendimiento de aguacates a nivel mundial + (Total) Periodo 2015-2016. Fuente: (FAOSTAT, 2018) .....	22
Gráfico 3. Porcentaje de producción de aguacate de los principales productores a nivel nacional. Fuente: (SIAP, 2017) .....	24
Gráfico 4. Principales países a los que México exporta aguacate y comparación de la cantidad exportada entre 2015 y 2016. Fuente: (CEDRSSA, 2017).....	25
Gráfico 5. Producción de los principales municipios productores de aguacate en Morelos, 2015. Fuente: (SIAP 2015).....	26
Gráfico 6. Climograma de los tres periodos del municipio de Cuernavaca. ....	44
Gráfico 7. Climograma de los dos periodos del municipio de Tetela del Volcán. ....	45
Gráfico 8. Temperatura máxima promedio mensual de los tres periodos de estudio en Cuernavaca. ....	46
Gráfico 9.a Tendencia del porcentaje de días al año con temperaturas máximas por encima del 90 percentil en Cuernavaca (Tx90p). Gráfico 9.b Tendencia del conteo anual de veces con por lo menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima es mayor al percentil .....	47
Gráfico 10. Temperatura máxima promedio mensual de los dos periodos de estudio en Tetela del Volcán.....	48
Gráfico 11.a Tendencia del porcentaje de días al año con temperaturas máximas por encima del 90 percentil en Tetela del Volcán 1986-2018. 11.b Tendencia del conteo anual de veces con por lo menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima es mayor al percentil .....	49
Gráfico 12. Temperatura máxima por periodo en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).....	50
Gráfico 13. Temperatura mínima promedio mensual de los tres periodos de estudio en Cuernavaca. ....	51
Gráfico 14. Temperatura mínima promedio mensual de los dos periodos de estudio en Tetela del Volcán.....	52
Gráfico 15. Temperatura mínima promedio por año en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).....	52
Gráfico 16. Temperatura mínima promedio por periodo en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05) .....	53



Gráfico 17. Comportamiento de la precipitación pluvial en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán por año. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05) .....	55
Gráfico 18. Comportamiento de la precipitación pluvial en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán por periodo. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05) .....	56
Gráfico 19..a Tendencia del número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm). 19.b Tendencia del máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos en Cuernavaca 1957-2018 .....	57
Gráfico 20. a Tendencia del número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm). b) Tendencia del máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos en Tetela del Volcán 1986-2018. ....	58
Gráfico 21. Temperatura máxima y mínima en el Sitio 1 .....	61
Gráfico 22. Temperatura máxima y mínima en el Sitio 2. ....	62
Gráfico 23. Temperatura máxima y mínima en el Sitio 3. ....	62
Gráfico 24. .a Largo del brote (cm) del árbol dos, oeste. 24.b Diámetro del brote (mm) del árbol 2, oeste .....	66
Gráfico 25. Temperatura máxima mensual en Cuernavaca para los periodos A, B, C y el sitio 2 (2019-2020), y fenología del aguacate ‘Hass’ en Morelos.....	67
Gráfico 26. Temperatura mínima mensual en Cuernavaca para los periodos A, B, C y el sitio 2, y fenología del aguacate ‘Hass’ .....	68
Gráfico 27. Producción por año de los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán. ...	73



## RESUMEN

El estado de Morelos por sus condiciones edafoclimáticas presenta un alto potencial para el desarrollo de la industria aguacatera: actualmente se encuentra entre los cinco principales productores a nivel nacional y dentro del estado, los municipios de la parte norte, son los principales productores de esta fruta.

Sin embargo, como en diversas áreas del planeta, se enfrenta a la amenaza de la modificación de las condiciones de temperatura y precipitación óptimas para la producción de *Persea americana* Mill, cultivar Hass, como consecuencia de las actividades humanas y la excesiva emisión de gases de efecto invernadero.

Lo anterior debido a que las condiciones ambientales como la temperatura y precipitación, tienen una relación directa con el desarrollo de las etapas fenológicas de cualquier especie vegetal y en el caso específico del aguacate puede alterar las etapas de floración y formación de fruto.

El objetivo del presente trabajo fue identificar las modificaciones en la temperatura y precipitación en tres periodos de tiempo en dos zonas productoras de aguacate del estado de Morelos. Para ello, se seleccionaron dos estaciones meteorológicas, una en Cuernavaca y la otra en Tetela del Volcán; para el análisis temporal se establecieron tres periodos de cinco años cada uno a partir del año 1956 con una diferencia de 30 años entre periodo. Se realizó un análisis de varianza y posteriormente se usó la prueba estadística LSD de Fisher para encontrar diferencias entre las medias de los valores de los parámetros (0.05).

Se hallaron diferencias significativas en la temperatura máxima para el municipio de Cuernavaca, así como en la temperatura mínima en Tetela del Volcán, ambas con tendencia al aumento. Por su parte el análisis de precipitación demostró un incremento significativo en las medias por periodo en ambas localidades.

Respecto a la fenología se encontró el aumento de la temperatura, como el que se presenta en estos dos municipios productores de aguacate de Morelos, puede ocasionar modificaciones en el ciclo fenológico de este cultivo. La localidad de Cuernavaca presenta temperaturas muy cercanas a la temperatura máxima límite para el adecuado desarrollo de la etapa de floración, lo que puede modificar la ocurrencia de dicha etapa de continuar el aumento de temperatura, como marca la tendencia. Ambas localidades presentan modificaciones estadísticamente significativas en los elementos del clima de temperatura y precipitación que puede resultar en problemas para la producción de aguacate, especialmente en las actividades de manejo necesarias.



## ABSTRACT

Due to its edaphoclimatic conditions, the state of Morelos presents a high potential for the development of the avocado industry; Currently it is among the five main producers at the national level and within the state, the municipalities of the northern part are the main producers of this fruit.

However, as in various areas of the planet, it faces the threat of the modification of the optimal temperature and precipitation conditions for the production of *Persea americana* Mill, cultivar Hass, as a consequence of human activities and the excessive emission of gases from greenhouse effect.

This is due to the fact that environmental conditions such as temperature and precipitation have a direct relationship with the development of the phenological stages of any plant species and in the specific case of avocado, it can alter the flowering and fruit formation stages.

The objective of the present work was to identify the changes in temperature and precipitation in three periods of time in two avocado producing areas of the state of Morelos. For this, two meteorological stations were selected, one in Cuernavaca and the other in Tetela del Volcán; For the temporal analysis, three periods of five years each were established starting in 1956 with a difference of 30 years between periods. An analysis of variance was performed and then Fisher's LSD statistical test was used to find differences between the means of the parameter values (0.05).

Significant differences were found in the maximum temperature for the municipality of Cuernavaca, as well as in the minimum temperature in Tetela del Volcán, both with a tendency to increase. For its part, the precipitation analysis showed a significant increase in the means per period in both locations.

Regarding phenology, the increase in temperature was found, such as the one that occurs in these two avocado producing municipalities of Morelos, can cause modifications in the phenological cycle of this crop. The town of Cuernavaca has temperatures very close to the maximum limit temperature for the proper development of the flowering stage, which can modify the occurrence of said stage by continuing the increase in temperature, as the trend indicates. Both locations present statistically significant modifications in the elements of the climate of temperature and precipitation that can result in problems for avocado production, especially in the necessary management activities.



## CAPÍTULO 1

### I.1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los problemas ambientales han adquirido gran relevancia en el ámbito internacional debido a la evidencia de las consecuencias y afectaciones en los sistemas que sustentan la vida del hombre. Entre las problemáticas que destacan se encuentra la pérdida de biodiversidad, generación excesiva de residuos, cambio de uso de suelo, contaminación de agua, suelo y aire así como el Cambio Climático.

Este último se considera como uno de los grandes retos que enfrenta la humanidad actualmente. A raíz de la observación de alteraciones en variables climatológicas en el último siglo se ha presentado una creciente preocupación de los impactos que podría ocasionar. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ha establecido que la principal causa de dicho fenómeno son las actividades humanas, las cuales contribuyen a la generación y liberación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera cuyas concentraciones se han incrementado en niveles nunca antes vistos en tres millones de años (IPCC, 2014).

Los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Entre las consecuencias de estas modificaciones al clima se encuentra el aumento del nivel del mar, incremento en el riesgo de inundaciones catastróficas, sequías, aumento de los incendios forestales y además representa una amenaza a la producción de alimentos (WMO, 2020).

Lo anterior se debe que el aumento de las temperaturas, los cambios en los regímenes de lluvias y los eventos climáticos extremos merman la producción de los cultivos deseados, además de que contribuye a la proliferación de plagas y enfermedades (FAO, 2009). Aunque algunos cultivos en ciertas regiones del mundo puedan beneficiarse, en general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura, amenazando la seguridad alimentaria mundial.

Debido a que la agricultura es una de las principales actividades económicas a nivel mundial y especialmente para México, se han realizado diversos estudios que evalúan la vulnerabilidad de cultivos como maíz, trigo, caña de azúcar, arroz entre otros ante los efectos del Cambio Climático. Respecto a la investigación en árboles frutales como el aguacate los trabajos son más escasos y se han desarrollado en la zona productora de Michoacán, no tomando en cuenta las diferencias que se pueden presentar con los otros principales estados productores.

A nivel nacional Morelos es el quinto productor de aguacate, por lo que la producción de esta fruta es de gran importancia económica y social para el estado (SIAP, 2019). Por dicha razón la presente investigación plantea analizar los impactos que el Cambio Climático puede ocasionar en las condiciones óptimas de temperatura, precipitación y humedad relativa para el desarrollo del cultivo.

## I.2 ANTECEDENTES

Desde la década de 1990, se ha manifestado un gran interés por analizar y medir los efectos del cambio climático en la actividad agrícola, especialmente en la capacidad de adaptación, la vulnerabilidad y la producción de los agro ecosistemas (Tao, Xu, Liu, Pan, & Gou, 2011).

En los inicios de este tipo de análisis, los estudios se basaban en encuestas realizadas a expertos, así como en experimentos de laboratorio cuya finalidad era estudiar los efectos de los cambios de temperatura sobre la producción de algunos cultivos bajo diferentes escenarios de cambio climático. Posteriormente, los estudios tenían como objetivo analizar las consecuencias directas del cambio climático en la producción de cultivos específicos como el trigo y el maíz. Recientemente se han incluido en el análisis las interacciones y canales de transmisión entre regiones, así como una variedad más amplia de cultivos. (Maddison, Manley, & Kurukulasuriya, 2007).

Uno de los principales metodologías empleadas para ese tipo de estudios, es el método de función de producción, el cual se basa en el uso de funciones empíricas o experimentales para estimar la relación entre la producción agrícola y los cambios ambientales, utilizando variables explicativas como; la temperatura, precipitación y el dióxido de carbono (López & Hernández, 2016). Es importante mencionar que se ha señalado que este método tiende a sobreestimar los efectos del Cambio Climático. Lo anterior fue demostrado por Mendelsohn y Schlesinger (1999) al comparar los resultados de funciones de respuesta climática estimados por medio de métodos experimentales con los resultados obtenidos al utilizar estimaciones econométricas de sección cruzada. En sus resultados se encuentra que los efectos son mayores cuando se usa el método experimental. Argumentan que esta diferencia pueda deberse a que el método experimental no permite incluir la adaptación de los agricultores a los efectos del Cambio Climático.

La revisión bibliográfica ha evidenciado que, en los modelos más utilizados de evaluación del cambio climático siguen una tendencia a enmarcarlos dentro de la evaluación de vulnerabilidad al asumir que el cambio climático implica un riesgo sobre la sostenibilidad y vitalidad de los sistemas naturales y humanos (CONANP, 2013; Robles, 2016). La vulnerabilidad es fundamental para el análisis de riesgos de la agricultura frente al cambio climático. Existen diversos métodos para estimar la vulnerabilidad en los sistemas agrícolas sometidos a los efectos del cambio climático, pero de manera general se pueden clasificar en dos enfoques metodológicos, el estructural y el espacial, los cuales se describirán a continuación.

El modelo estructural combina las respuestas biofísicas de los cultivos con las respuestas económicas de los agricultores. Una de sus principales características es que se basa en una función de producción empírica la cual predice los efectos del clima sobre la agricultura. Este modelo facilita la incorporación de los efectos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos, pues permite una mayor comprensión de las respuestas fisiológicas, biológicas y económicas de los cultivos ante las variaciones de las variables climáticas (Hernández-Ramírez, Bonales, & Ortíz, 2014).

Dentro de los trabajos realizados por medio del enfoque estructural se encuentra el de Tinoco-Rueda *et al.* (2011) quienes analizaron la distribución del maíz en el estado de Jalisco y simularon los efectos del Cambio Climático en dicha distribución en escenarios futuros. Los

resultados muestran un incremento en la superficie no apta para el cultivo de maíz del 63% en uno de los modelos empleados y del 90% en otro modelo.

Por otra parte en el estudio realizado por Monterroso- Rivas *et al.* (2007), los autores definieron niveles de aptitud de crecimiento del maíz y el café lo cuales fueron Apto, Moderadamente Apto, Marginalmente apto y No apto. Posteriormente aplicaron tasas de cambio de los modelos de cambio climático simulados para el año 2020 y 2050, compararon la información obtenida por cada modelo. Los escenarios de cambio climático sugieren disminuciones en la precipitación con rangos que van del 10 al 20% respecto a los valores observados. La temperatura se incrementará desde 1°C al año 2020 hasta los 4°C para el 2050, en promedio para la región, repercutiendo en la capacidad de infiltración de agua disponible para los cultivos evaluados y sugiriendo una mayor vulnerabilidad para la producción agrícola.

Bajo este enfoque estructural, Ruiz *et al.* (2011) realizaron una investigación en cinco zonas productoras de maíz en México, en el cual el objetivo fue determinar las modificaciones agroclimáticas que podrían estar asociadas con el cambio climático. Algunos parámetros que se determinaron fueron temperatura media, diurna y nocturna y precipitación. La selección de estos parámetros se debió a que unas alteraciones en ellos ocasionarán una reducción de la superficie con condiciones agroclimáticas óptimas para la producción de maíz.

Los modelos que pueden encontrarse dentro del enfoque espacial buscan estimar los efectos del cambio climático en la agricultura con base en las diferencias observadas en los valores de la tierra, la producción agrícola y otros impactos climáticos relacionados entre regiones, utilizando métodos estadísticos o de programación para analizar cambios en los patrones espaciales de la producción (Molua & Lambi, 2007). En ese sentido, el enfoque espacial permitiría estimar el impacto directo del cambio climático en unidades con un elevado grado de desagregación (a nivel de granja, por ejemplo), sin descuidar variables relevantes como la calidad de la tierra. No obstante, los modelos espaciales asumen que los ajustes biológicos, físicos y económicos impuestos por el cambio climático a plantas, cultivos y agricultores se realizan de manera automática.

El modelo más destacado dentro de este enfoque, es el Ricardiano, ya que ha sido uno de los más utilizado para realizar análisis económicos sobre los efectos del cambio climático en la agricultura. Bajo este enfoque metodológico se han desarrollado una gran cantidad de estudios que permiten ver la relación de los cambios del clima con los impactos en la actividad agrícola.

Schenker *et al.* (2006), analizaron con base en información de diferentes condados de Estados Unidos el impacto del Cambio Climático en la agricultura. Los autores emplearon como variables independientes medidas climáticas, características del suelo y condiciones socioeconómicas. Sus resultados muestran de moderadas ganancias a grandes pérdidas para los condados que analizan.

Por su parte Molua y Lambi (2007) realizaron un trabajo en donde estimaron la relación entre el clima, la ganancia neta de los cultivos con base en información de 800 granjas de Camerún, para ello aplicaron un enfoque Ricardiano, el cual permitió concluir que las ganancias netas disminuyen a medida que la precipitación decrece y la temperatura aumenta.

García-Flecha y Viladrich-Grau (2007) estudiaron el efecto del cambio climático sobre la agricultura española en el cual se cuantificó el impacto económico del cambio climático sobre el valor de la tierra agrícola. Uno de los resultados obtenidos fue que hay una adaptación casi nula por parte del seto agrícola lo cual orillaría a un cambio en la utilización de las tierras, las cual serán destinadas a la actividad productiva que mayor beneficio proporcione.

Otro enfoque metodológico que se ha considerado para evaluar los impactos del cambio climático en la agricultura es el de “Presión Estado Respuesta”(PER), el cual fue propuesto por la Organización para la Cooperación y el desarrollo Económico (OCDE) en 2001 para realizar evaluaciones de distintos sistemas y que se ha adaptado al sector agropecuario bajo efectos de las alteraciones del clima. Núñez *et al.* (2018) después de analizar los diferentes modelos de evaluación de impactos ambientales, seleccionaron el modelo PER, debido a que este previa adaptación a las características específicas de pequeñas unidades de producción agrícola de subsistencia. Los autores señalan que los estudios realizados en Colombia centran su interés en los sistemas tecnificados y comerciales de grandes extensiones por lo que las metodologías propuestas en estos trabajos no se adaptan a las condiciones de la agricultura familiar de pequeña escala.

En el contexto nacional se encuentran trabajos como los realizados por Vázquez- Valencia y Magaña- García (2018). El primero estudio se realizó en Cihuatlán, Jalisco, en este trabajo tenía como objetivo analizar el desarrollo sostenible del municipio mediante los indicadores PER, el trabajo se enfatizó en tres sectores primordiales para el desarrollo del municipio: forestal, agropecuario y turístico (Vázquez- Valencia & García- Almada, 2018). La información se obtuvo de documentos oficiales, participación en talleres y entrevistas a actores relevantes. Se identificaron como principales presiones, el manejo inadecuado de residuos, degradación del ecosistema y vulnerabilidad ante el cambio climático. Respecto al sector agropecuario una de las conclusiones de este trabajo es que el municipio ha expandido el área superficial dedicada a esta actividad debido a las alteraciones climatológicas.

Respecto al trabajo realizado por Magaña-García (2014) se evaluaron los impactos potenciales de la variabilidad y el cambio climático sobre la agricultura de maíz en Michoacán, tomando en cuenta que se han realizado distintos trabajos en esta área de estudios, esta investigación se hizo con el enfoque PER, el cual no ha sido utilizado en trabajos anteriores y permite realizar un diagnóstico e identificar los problemas en esta actividad. Dentro de los resultados destaca que como medida de adaptación a las constantes sequías se ha utilizado el doble de agua lo cual podría generar un desbalance en la distribución del vital líquido y así afectar a las poblaciones circunvecinas

Al adecuar el modelo PER a su objeto de estudio, obtienen que el factor de “ Presión” se refiere a la influencia de las actividades antrópicas sobre el entorno e intensidad de las variaciones de los factores climáticos (temperatura y precipitación); el de “Estado” a los efectos (negativos y positivos) del cambio climático en los sistemas productivos, sociales, económicos y ambientales del sector agropecuario y; la categoría de “Respuesta” políticas, programas, proyectos y buenas prácticas de los agricultores (saberes campesinos) para mitigar y adaptar al sector agropecuario al cambio climático.

En relación con estudios realizados específicamente en los efectos del Cambio Climático en el cultivo de aguacate, los trabajos hallados en la revisión bibliográfica han sido desarrollados en el estado de Michoacán, esto debido a que es el principal productor del país. Tapia-Vargas

*et. al* (2011) quienes analizaron los cambios de las variables climáticas de temperatura y precipitación en la zona aguacatera de Michoacán, a partir de una línea base de 1963 al 1972, comparándolas con las condiciones del 2001 al 2010. Los resultados obtenidos indican que no hubo significancia para temperaturas máximas y mínimas; respecto de la precipitación, en el periodo del 2001 al 2010, los días de lluvia efectiva disminuyeron en casi 10, con relación a los que se tenían hace 40 años; sin embargo, la cantidad de precipitación para el ciclo de lluvias ha aumentado. Lo anterior puede ser desventajoso por el daño que puede causar un incremento de la precipitación con ocurrencia en menos tiempo.

Por su parte Álvarez Bravo *et al.* (2017) realizaron un estudio en el cual tenían por objetivo evaluar el posible impacto del cambio climático en la principal región productora de aguacate cv. Hass en el estado de Michoacán. Para ello acopiaron bases de datos climáticas y fueron cuantificados los cambios de las principales variables meteorológicas al comparar la climatología de 1961 al 2010 y los escenarios futuros, en dos rutas de concentración representativas [RCP] de gases de efecto invernadero (GEI) para las climatologías 2030, 2050 y 2070. Los resultados arrojaron que los cambios se manifestarán con mayor intensidad a final de siglo para las dos RCP; además sus resultados les permitieron determinar que la fenología del aguacate ‘Hass’ cultivado en Michoacán es vulnerable al cambio climático por dos amenazas, aumento de la temperatura máxima y retraso de la inflexión de la temperatura mínima.

### I. 3. MARCO TEÓRICO

#### I.3.1 El clima.

El clima se define como la media de los valores diarios recogidos de temperatura, precipitación, etc., en un lugar determinado durante un periodo largo de tiempo, normalmente 30 años (OMM, 2007). Cuando se aborda el estudio del clima, es vital distinguir sus factores, que son características geofísicas que condicionan de un modo preponderante el clima de cada lugar; latitud, altitud, continentalidad, orientación, naturaleza del suelo y vegetación. Hay que distinguir también los elementos del clima, que son aquellos componentes en que, para su estudio, suele dividirse el clima, tales como humedad, visibilidad, radiación solar, temperatura, precipitación, viento, presión, nubosidad y otros.

La comprensión de los conceptos básicos sobre el funcionamiento del clima es fundamental para el desarrollo del tema de investigación, por lo que a continuación se describen los elementos y factores que lo componen y su influencia.

##### I.3.1.1 Factores del clima

Son los agentes que determinan los distintos tipos de climas, modificando los regímenes de temperaturas, precipitación, viento regionalmente

1. **Latitud:** Es la distancia angular que hay desde un punto en la superficie de la tierra hasta el Ecuador. Se mide en grados, minutos y segundos. Cuanto más cerca se encuentre un lugar del ecuador menos variación habrá en la duración de los días y la energía solar incidirá más vertical y con más intensidad sobre él, por lo que más cálidas serán las temperaturas. Cuanto más lejos se encuentre ese

punto del ecuador la energía solar le alcanzará con un ángulo menor, además durante el invierno los días serán cortos acentuando el frío.

2. **Altitud:** Es la distancia vertical de un punto de la tierra respecto al nivel del mar. Al aumentar la altitud la temperatura disminuye aproximadamente un grado cada 154 metros (cada 180 en la zona intertropical), esto es debido a que conforme ascendemos la presión es menor y un gas al perder presión pierde temperatura. El aire por tanto al estar a menos presión está más frío que en las zonas bajas. Hay otro factor además que contribuye a que en altura haga más frío, y es el balance energético de nuestro planeta.
3. **Circulación atmosférica. Vientos planetarios:** Los vientos planetarios son los vientos que predominan en la Tierra. Recorren grandes distancias y soplan casi siempre en la misma dirección. Se mueven entre los centros de acción, que son los cinturones de altas y bajas presiones de la Tierra.
4. **Corrientes marinas:** Las corrientes marinas son masas de agua que se desplazan a lo largo de los océanos y recorren grandes distancias. Tienen una influencia muy importante en los climas de la Tierra ya que contribuyen a repartir el calor del trópico por el resto del planeta. Hay corrientes frías y corrientes cálidas, que enfrían o entibian las regiones que recorren e influyen en las presiones y humedad.
5. **Distancia al mar (Factor de continentalidad):** El mar no se calienta tan deprisa como la tierra en verano y se enfría lentamente en invierno por lo que modera el clima de las costas, haciéndolo más templado que el del interior y con menor diferencia entre las temperaturas del mes más cálido y del más frío. Conforme nos alejamos del mar ese efecto desaparece y el rango de temperaturas es mayor tanto entre el día y la noche como entre el verano y el invierno. El clima del interior de los continentes en las latitudes templadas se caracteriza por una gran diferencia entre la temperatura del mes más cálido y del más frío, además por inviernos muy fríos. Las regiones que se encuentran lejos del mar suelen tener también un clima relativamente seco ya que las masas de aire de origen marítimo, al desplazarse sobre grandes extensiones de tierra van perdiendo su humedad en forma de precipitación, más rápidamente si entran en contacto con montañas. Conforme viajan hacia el interior les queda menos humedad por lo que la cantidad de lluvia disminuye.
6. **Relieve:** El relieve tiene mucha influencia en los climas que se dan en una región ya que las cadenas montañosas son barreras naturales al movimiento del aire. Cuando los vientos soplan del mar cargados de humedad y se encuentran con ellas se ven obligados a ascender, con lo que se enfrían, el vapor de agua que contienen se condensa formando nubes y se producen precipitaciones en las laderas expuestas a esos vientos (barlovento). A las laderas opuestas (sotavento) el aire llega con menos humedad, al descender aumenta su presión y por tanto su temperatura y las nubes desaparecen lo que da lugar a un clima más seco a ese lado de la cordillera (Hewitt & Jackson, 2003).

### I. 3.1.2 Elementos del clima

1. **Temperatura:** Es la cantidad de energía calorífica que posee el aire en un momento determinado. Se mide mediante termómetros, habitualmente en grados Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) y determina las sensaciones de calor y frío.
2. **Precipitación:** Es la caída al suelo del agua contenida en la atmósfera. Puede ser en forma de agua, de nieve, de brumas o de rocío y se produce cuando la atmósfera no puede contener más agua y esta se condensa y precipita. Se mide en litros por metro cuadrado de superficie ( $\text{l/m}^2$ ), o su medida equivalente milímetros de altura del agua caída (mm). El instrumento de medición es el pluviómetro.
3. **Viento:** Es el movimiento del aire en la atmósfera, que se desplaza desde las zonas de altas presiones a las de bajas presiones. Aunque este movimiento tiene lugar en las tres dimensiones del espacio, en meteorología se mide sólo la velocidad y dirección de su componente en el plano horizontal. La velocidad la mide el anemómetro, habitualmente en  $\text{m/s}$  o  $\text{km/h}$ . La dirección se mide mediante una veleta, en grados desde el norte, y nos indica de dónde viene el viento: del norte, del nordeste, del este, etc.
4. **Humedad:** La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua presente en el aire y se mide en  $\text{g/m}^3$ . La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire y la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener a una determinada temperatura. Cuanto mayor es la temperatura del aire, más cantidad de vapor de agua disuelto admite. La humedad relativa se mide en porcentaje: un valor de 100 % indica que el aire está saturado de vapor de agua y ya no puede retener más, lo que da lugar a la formación de nubes, nieblas, rocío o si la temperatura es lo suficientemente baja, escarcha. El instrumento de medición de la humedad relativa es el higrómetro.
5. **Presión atmosférica:** Es el peso de la columna de aire sobre una unidad de superficie. Se expresa en pascales (Pa), unidad equivalente al newton por metro cuadrado ( $\text{N/m}^2$ ). Como esta unidad resulta pequeña, habitualmente se utiliza el hectopascal (hPa) o su equivalente el milibar (mbar). La presión atmosférica desciende con la altitud.
6. **Nubosidad:** Es la fracción del cielo cubierta por nubes observada en un lugar determinado. Se divide la bóveda celeste en ocho partes y la nubosidad se mide en octas. Va desde 0/8 que indica un cielo completamente despejado hasta 8/8 para un cielo completamente cubierto (Hewitt & Jackson, 2003).

### I.3.2 El Clima desde la perspectiva de Enriqueta García

El sistema de Köppen se basa en que la vegetación natural tiene una clara relación con el clima, por lo que los límites entre un clima y otro se establecieron teniendo en cuenta la distribución de la vegetación. Los parámetros para determinar el clima de una zona son las temperaturas y precipitaciones medias anuales y mensuales, y la estacionalidad de la precipitación.

Divide los climas del mundo en cinco grupos principales: tropical, seco, templado, continental y polar, identificados por la primera letra en mayúscula. Cada grupo se divide en subgrupos, y cada subgrupo en tipos de clima. Los tipos de clima se identifican con un símbolo de 2 o 3 letras.

Sin embargo esta clasificación, no se ajusta totalmente a las condiciones de México, es por ello que Enriqueta García en 1963 publicó su investigación titulada “Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen” en donde plantea las adecuaciones para los climas que se encuentran en el país, basándose principalmente en que las formaciones vegetales usadas por Köppen no existen en México o bien no coinciden con los tipos climáticos que deben definir.

Las designaciones originales correspondientes a los grupos climáticos A, B,C,D se conservaron iguales, ya que están representados en amplias zonas de México y los climas E se encuentran en zonas reducidas. Únicamente se excluyó el D al no existir en el país.

De esta forma los grupo climáticos en México son los A que corresponden a tropicales lluviosos, con temperatura media del mes más frío mayor de 18° C, los B es decir secos, los climas C que son templados lluviosos, con temperatura media de, mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente mayor de 10°C y por último los climas E, fríos con temperatura media del mes más caliente menor de 10°C (García, 2004).

### **I.3.3 Fenómeno del Niño y la Niña**

El Niño y La Niña constituyen las fases extremas del fenómeno océano atmosférico conocido como El Niño-Oscilación del Sur, ENSO. Ambas fases se encuentran asociadas a las anomalías hidrológicas que ocurren en el trópico sudamericano, entre otras regiones, básicamente en escalas de tiempo que van desde la mensual hasta la interanual. El Niño y La Niña se presentan cíclicamente en períodos variables de 2 a 7 años. Tienen mayor incidencia en el océano Pacífico y sus alrededores, a la latitud del ecuador. Las consecuencias que generan afectan tanto el ámbito regional como el global, pues transforman el estado del clima de casi toda la Tierra (De la Casa & Ovando, 2006) .

Se denomina El Niño a la presencia de aguas anormalmente cálidas (más de 0.5°C por encima de lo normal en la costa occidental de Suramérica por un período mayor a tres meses consecutivos). Actualmente es considerado como un fenómeno ocasional, irregular, aperiódico y de grandes repercusiones socioeconómicas en el mundo. Se presenta con variada intensidad, siendo los episodios de 1982 -1983 y 1997-1998 los de más impacto en el siglo XX (WMO, 2019).

En los años en que se presenta El Niño se origina una alteración en la presión atmosférica sobre el océano Pacífico, que disminuye cerca de Tahití y aumenta al norte de Australia. Los vientos alisios se debilitan o incluso desaparecen y por lo tanto se originan, tanto en la atmósfera como en los océanos, grandes anomalías. Los vientos alisios no tienen fuerza para arrastrar las aguas cálidas superficiales hacia las costas asiáticas, entonces regresan a las costas americanas formando la contracorriente El Niño. Esto provoca efectos atmosféricos y oceánicos contrarios a los tiempos normales. Es decir, en las costas asiáticas aparecen las

sequías, los incendios en los bosques, etcétera. En las costas americanas se desatan grandes temporales tropicales, que acarrearán aluviones e inundaciones (Alcaraz Ariza, 2012).

En otras ocasiones ocurre el fenómeno opuesto. Los vientos alisios del sur se intensifican frente a las costas suramericanas y provocan un mayor afloramiento de aguas frías, las cuales cubren la superficie del Pacífico desde Suramérica hasta un poco más allá del centro del océano. Por sus características contrarias a El Niño, este fenómeno es conocido como La Niña. Se destacan los episodios de 1988- 1989 y 1998-2000 por su intensidad, duración y efecto climático.

Cuando se presenta el fenómeno de la Niña, se produce un mecanismo inverso al que originó a El Niño: la presión atmosférica sube en Tahití y baja en Australia, se restablece la dirección de la circulación normal pero con más fuerza. Los vientos alisios soplan con más intensidad que la normal y arrastran hacia el Pacífico occidental mayor volumen de agua, provocando que aflore más cantidad de agua fría en el Pacífico oriental. Esto provoca precipitaciones superiores a las normales en Asia, Australia e inclusive en África del Sur. Mientras tanto, desciende la temperatura sobre las costas americanas y aumenta la aridez y la frecuencia de los huracanes en la planicie central de Estados Unidos (WMO, 2019).

#### **1.3.4 Efecto Invernadero**

Se denomina gases de efecto invernadero (GEI) a aquellos gases constituyentes de la atmósfera, tanto de origen natural como antropogénico, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda correspondientes a la radiación infrarroja, la cual es emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes (IPCC, 2007).

De esta forma, los GEI retienen el calor dentro del sistema de la atmósfera terrestre, la cual conforma la parte inferior de la atmósfera que inicia desde la superficie hasta 10 km de longitud. Entre los principales GEI se encuentran el vapor de agua ( $H_2O$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso ( $NO_2$ ) y el ozono ( $O_3$ ) (IPCC, 2007, FAO 2013).

Es importante aclarar que el efecto invernadero es un fenómeno natural sumamente necesario para mantener la vida en el planeta, ya que los GEI actúan como frazada alrededor de la tierra, sin la cual la temperatura media sería de  $18\text{ }^\circ\text{C}$  bajo cero, comparado con el valor actual de la superficie terrestre que es de  $15\text{ }^\circ\text{C}$  (Herrera, Rojas, Quirós, Balma, & Anchía, 2017). Sin embargo, el problema surge con la creciente emisión de GEI desde la Revolución Industrial a mediados del siglo XVIII, lo que ha traído como consecuencia el aumento de la temperatura media global de la superficie terrestre y oceánica de  $0.85\text{ }^\circ\text{C}$  durante el periodo 1880-2012, siendo que casi la totalidad del planeta ha experimentado un aumento de la temperatura de superficie (INECC, 2018).

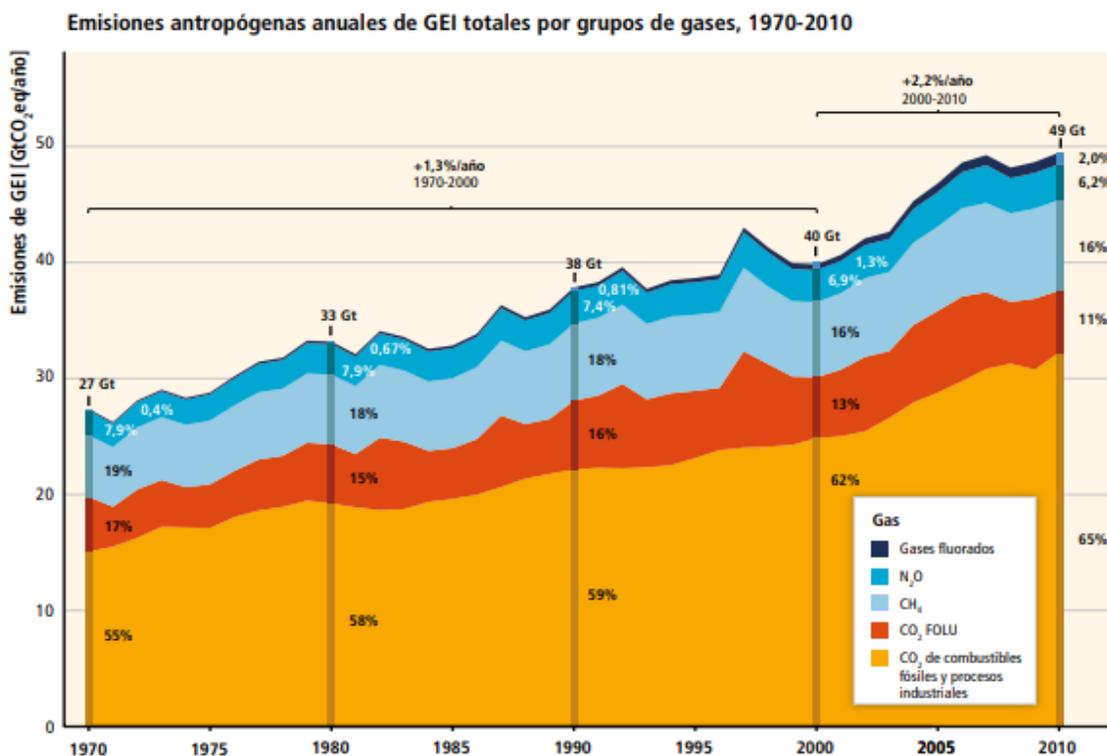


Figura 1. Emisiones antropógenas anuales de GEI totales (GtCO<sub>2</sub>eq/año) por grupos de gases, 1970-2010: CO<sub>2</sub> procedente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales; CO<sub>2</sub> procedente de la silvicultura y otros usos del suelo (FOLU); metano (CH<sub>4</sub>); óxido Fuente: (IPCC, 2014)

### I.3.4 Cambio climático

El Cambio Climático actualmente constituye un tema relevante a nivel global, representa el problema más grave en el campo ambiental y es considerado un reto que enfrentan las políticas públicas al representar una gran amenaza para el desarrollo a nivel mundial. Nadie estará exento de las complejas repercusiones que tendrá en todos los continentes y las naciones, pues la atmósfera engloba a toda la vida del planeta, y todas las reacciones químicas que en buena parte se deben a la temperatura (Curiel, 2012).

De acuerdo al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático o IPCC por sus siglas en inglés, cambio climático se define como la variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos (IPCC, 2014).

Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) define el cambio climático como “un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables no menor de diez años” (ONU, 1992).

En el comienzo de las evaluaciones realizadas por el IPCC, no se aseguraba que las alteraciones presentadas en los sistemas climáticos fueran originadas por las actividades que el hombre realiza, sin embargo, en su quinto informe publicado en 2014, el grupo de científicos que conforman el Panel aseveran con un 95% de certeza, que la actividad humana es actualmente la causa principal del calentamiento global (IPCC, 2014).

A lo largo de la historia de la Tierra, el clima ha experimentado diversos cambios los cuales son parte de un proceso natural, dichos cambios han sucedido en escalas de tiempo que generalmente van de los miles a millones de años. Lo que destaca del proceso de cambio global reciente, y que lo convierten en un hecho sin precedentes, es la rapidez y magnitud con la que está ocurriendo, ya que se ha desarrollado en cuestión de décadas y con cambios notables (Pabón, 2003).

Este ritmo acelerado en el aumento de la temperatura es a consecuencia de las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, las cuales incrementan las concentraciones en la atmosfera de los gases que producen el efecto invernadero como dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno entre otros más (Molina, Sarukhán, & Carabias, 2017).

Los efectos negativos de las emisiones antropogénicas son muchos y actualmente ya es posible observarlos a nivel mundial, entre ellos se encuentran el aumento promedio del nivel del mar, modificación de los patrones naturales de precipitación, inundaciones, sequías, pérdida de biodiversidad entre otras (Duarte, y otros, 2008). Estas manifestaciones en el planeta también han ocasionado alteraciones en los sistemas humanos, es decir en los procesos necesarios para garantizar su subsistencia, tales como el abastecimiento de agua, disminución de recursos, proliferación de enfermedades y reducción en la productividad agrícola.

#### **I.3.4.1 Vulnerabilidad**

El término vulnerabilidad es usado en diversos tipos de análisis de los efectos que el cambio climático puede tener en los distintos sistemas humanos (económico, social, agrícola, productivo, entre otros) debido a que permite una perspectiva integral de los factores que intervienen en dichos sistemas y los resultados obtenidos a partir del enfoque de vulnerabilidad son más completos que otro tipo de estudios.

El término ha sido ampliamente usado en distintas disciplinas, debido a los diferentes objetos de estudio y antecedentes de conocimiento, la comprensión y definición de vulnerabilidad puede ser muy diferente. Con la creciente influencia de las cuestiones relacionadas al cambio climático, el concepto fue introducido al campo de la ciencia del clima, en donde el IPCC fue incluyéndolo en sus reportes de evaluación. En su Tercer Reporte (2001) claramente definen la relación entre sensibilidad al Cambio Climático y adaptación y vulnerabilidad.

Para el IPCC, la vulnerabilidad está definida como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad es una función del carácter, la magnitud y la tasa de cambio climático y la variación a la que está expuesto un sistema, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de ese sistema.

En el Quinto Informe (2014) queda plasmado que la vulnerabilidad no deriva exclusivamente de factores climáticos, sino que es producto de la intersección de procesos sociales expresados en desigualdades socioeconómicas.

Las sucesivas definiciones del IPCC llevan considerar la vulnerabilidad como una función de tres grandes dimensiones: la exposición a la variabilidad y a los extremos climáticos, la sensibilidad de los sistemas sociales y la capacidad de adaptación de los grupos humanos que habitan en las regiones estudiadas (Musseta, Barrientos, Acevedo, Turbay, & Ocampo, 2017).

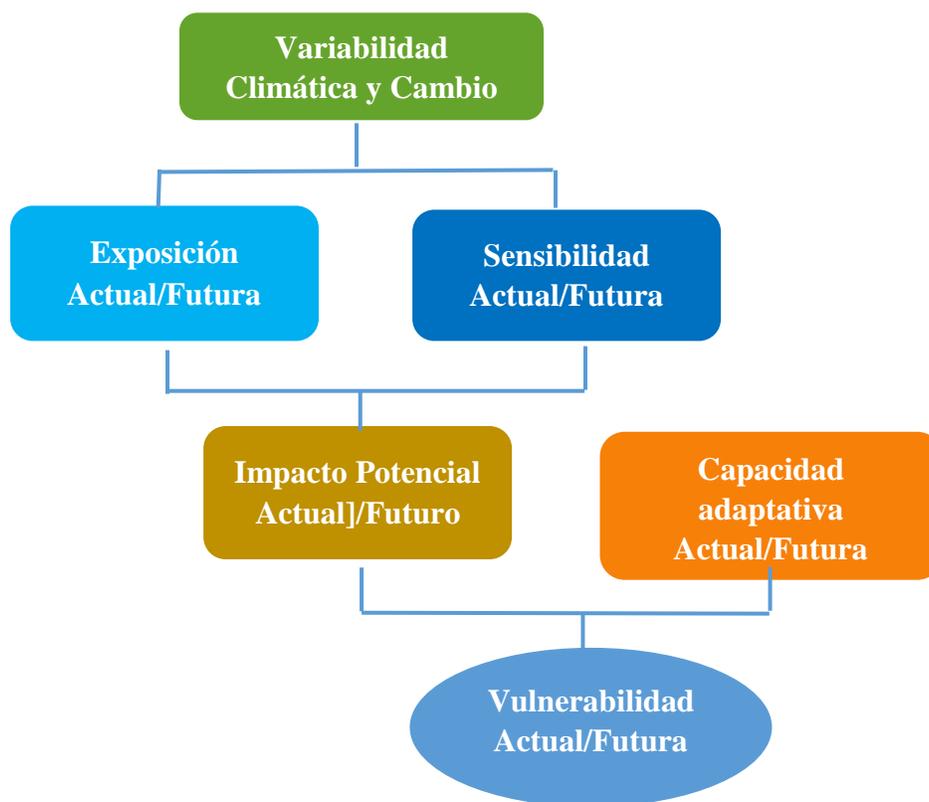


Figura 2. Componentes de Vulnerabilidad actual y futura de acuerdo con el concepto de IPCC (2007). Fuente INECC, 2016.

La exposición se refiere al tipo y grado, o naturaleza, a la que un sistema está expuesto a variaciones climáticas significativas. El análisis de cambio climático observado se relaciona con cambios del comportamiento de la precipitación, temperatura, y de eventos extremos.

Por su parte, la sensibilidad hace referencia al grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climático. Los efectos pueden ser directos (cambio en el rendimiento de los cultivos en respuesta a una variación de la temperatura media, de los intervalos de temperaturas o de la variabilidad de la temperatura) o indirectos (daños causados por una mayor frecuencia de inundaciones costeras por haber

umentado el nivel del mar). La sensibilidad refleja a las condiciones sociales, económicas, culturales, políticas y ambientales más amplias y depende de los recursos a los que los actores puedan acceder (IPCC, 2014).

La capacidad de adaptación indica la habilidad de los sistemas para ajustarse a las condiciones del entorno y aumentar su rango de tolerancia ante aquellos factores que lo afectan. Puede detonar p el diseño e implementación de medidas de adaptación efectivas para la reducción de la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas.

### **I.3.4.2 Cambio climático y seguridad alimentaria**

La Seguridad Alimentaria consiste en la disponibilidad de alimentos suficientes para satisfacer las necesidades de consumo de la población de un país en todo momento, incluso en épocas de escasa producción nacional o de condiciones económicas adversas. Ésta es necesaria para el crecimiento puesto que el acceso inadecuado e irregular a alimentos limita la productividad y reduce la inversión en capital humano (López & Hernández, 2016).

Existen diversos factores que influyen en la Seguridad Alimentaria, entre ellos ecológicos, económicos, nivel de ingreso y educación de la población, la distribución de los alimentos entre otros más. Sin embargo, actualmente la principal amenaza para la Seguridad Alimentaria es el Cambio Climático (IFPRI, 2009).

En su informe del 2018 “El estado de la Seguridad Alimentaria y la nutrición en el mundo”, la Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura (FAO) asegura que la variabilidad y las condiciones extremas del clima son los principales factores responsables de los recientes aumentos del hambre a nivel mundial y una de las principales causas de graves crisis alimentarias (FAO, UNICEF y OMS, 2018). Además de los conflictos, la variabilidad y las condiciones extremas del clima se encuentran entre los factores clave del reciente aumento del hambre en el mundo y son algunas de las causas principales de crisis alimentarias graves. El efecto acumulativo de los cambios en el clima está minando todas las dimensiones de la seguridad alimentaria, esto es, la disponibilidad de alimentos, el acceso, la utilización y la estabilidad

Los cambios en el clima ya están debilitando la producción de los principales cultivos (trigo, arroz y maíz) en regiones tropicales y templadas y, si no se adaptan, se prevé que esta situación empeore a medida que las temperaturas aumenten y se vuelvan más extremas.

La FAO en su informe advierte que los nuevos datos indican un aumento del hambre mundial en los últimos años, después de un período de disminución prolongado. Se estima que 821 millones de personas —aproximadamente, una de cada nueve personas en todo el mundo— están subalimentadas (FAO, UNICEF y OMS, 2018). La situación del hambre es significativamente peor en los países cuyos sistemas agrícolas son extremadamente sensibles con una elevada sensibilidad a la variabilidad de las precipitaciones, la temperatura y a las sequías graves, y donde los medios de vida de una elevada proporción de la población dependen de la agricultura.

### I.3.4.3 Impactos en la Agricultura

La agricultura es un sector especialmente vulnerable a las modificaciones de los factores climatológicos, ya que influyen en el desarrollo de los cultivos de forma directa e indirecta (FAO, 2017). Se estima que alrededor de 40% de la superficie terrestre del planeta está ocupada por la agricultura y la ganadería; aproximadamente 1 500 millones de hectáreas de tierra son utilizadas para plantar cultivos (Howden, et al., 2007; Alston y Pardey, 2014)

La evaluación de numerosos estudios que abarcan un amplio espectro de regiones y cultivos muestra que los impactos negativos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos han sido más comunes que los impactos positivos (Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición, 2012). Es posible que en un inicio el calentamiento moderado del planeta beneficie a la producción de cultivos en las regiones templadas y perjudique a las regiones semiáridas y tropicales. Sin embargo, si el calentamiento continúa más allá de la mitad del siglo, la producción en todas las regiones del planeta se verá afectada de manera negativa (Tubiello y Rosenzweig, 2008).

Un reciente meta-análisis de los impactos futuros del cambio climático indica que el 70% de los estudios proyectan un descenso del rendimiento de los cultivos para la década de 2030, con pérdidas en el rendimiento entre 10 y 50% en la mitad de los estudios (Challinor *et al.* 2014).

El impacto en los sistemas agrícolas se debe a que el aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y pestes. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. En cuanto a los fenómenos extremos como las sequías, las lluvias extremas, las granizadas y los ciclones, se tienen previstos daños severos a los cultivos (Ojeda- Bustamante, Sifuentes-Ibarra, Íñiguez- Covarrubias, & Montero- Martinez, 2011).

A raíz de este desbalance en el sistema climático se estima que los principales efectos directos de las variaciones de temperatura y precipitación, serían una alteración de la duración de los ciclos de cultivo, alteraciones fisiológicas por exposición a temperaturas fuera del umbral permitido, deficiencias hídricas y respuesta a nuevas concentraciones de CO<sup>2</sup> atmosférico.

Como efectos indirectos se prevé el aumento de parásitos, plagas y enfermedades, disponibilidad de nutrientes en el suelo y planificación agrícola, es decir se presentaría una alteración de las fechas de siembra, laboreo, cosecha y mercadeo que puede provocar pérdidas económicas para los agricultores.

Como se mencionó con anterioridad, la temperatura y la precipitación, entre otros factores ambientales son los que provocan una mayor alteración en los cultivos.

La temperatura es un factor de primer orden en la producción de cultivos, ya que incide en la tasa de desarrollo y el crecimiento. La temperatura interviene en numerosos procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la transpiración, las velocidades de crecimiento y desarrollo (las diferentes etapas por las que pasa la planta desde la germinación a la madurez de sus frutos). Cualquier modificación de sus valores en una determinada zona hará que el comportamiento de los cultivos sea diferente (Hernández Díaz-Ambroña, 2005).

El incremento de la temperatura que trae consigo el cambio climático está provocando diferentes efectos en la agricultura; por un lado, una mayor temperatura eleva las necesidades de agua de las plantas y por el otro, acelera el desarrollo de los cultivos, que acorta los ciclos de producción y con ello se reducen los rendimientos. El calentamiento del planeta disminuye la duración del periodo de heladas e incrementa la temperatura de regiones agrícolas templadas y semifrías, lo que permite ampliar su patrón de cultivo a especies de origen subtropical o tropical (Ruíz, 2012).

### **Impactos en México**

El campo mexicano es un ámbito estratégico para el desarrollo económico del país. En México las actividades agropecuarias tienen una gran importancia en el medio rural como fuente de ingresos y proveedor de alimentos. Además, los productos agrícolas son la base de un gran número de actividades comerciales e industriales. Se estima que, en el país, 5 millones de personas se dedican a la agricultura (SAGARPA, 2016).

Respecto a los impactos derivados del cambio climático, México resulta ser especialmente vulnerable, ya que se sitúa en zonas que serán impactadas por sequías (Noroeste) e inundaciones (Sureste), por fenómenos meteorológicos extremos y por su débil estructura social y económica. Las condiciones en que se desarrolla la agricultura en México, tanto de temporal como de riego, determinan también su vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos

En el país, la mayoría de los sistemas agropecuarios y forestales son críticamente dependientes del clima. Con base en análisis realizados, se estima el promedio anual de temperatura proyectada para 2060 se incrementará de 1.1 a 3 °C y las proyecciones de los valores medios de precipitación variarán de -3 a 15%, conforme al modelo GCM. Así mismo, de acuerdo a un estudio realizado por la SAGARPA, se encontró que, en la mayoría de las regiones, un aumento en la temperatura tiene efectos negativos sobre el valor de la tierra al afectar adversamente al ingreso neto obtenido por la unidad de producción en su conjunto de actividades agropecuarias (SAGARPA-FAO, 2012).

En México, sobresalen otros estudios que permiten evidenciar el impacto del cambio climático en el sector agrícola tanto a escala nacional como local, entre ellos destacan los de Gay *et. al.* (2006), y Conde *et. al.* (2006). A partir de estos estudios se concluye que la agricultura es uno de los rubros más vulnerables a los posibles cambios en el clima, así como por los posibles eventos hidrometeorológicos extremos.

Así mismo, en virtud de que la variada topografía en México impone diferencias climáticas entre las diferentes regiones del país, se estima que existirá un decremento en la superficie arable y los rendimientos de las cosechas de cultivos debido al cambio climático, lo cual implica retos para aliviar la pobreza y asegurar la alimentación y bienestar de las poblaciones locales y las regionales.

Esta problemática queda en evidencia en el medio rural, en donde de acuerdo al censo agropecuario del 2007 existieron 3.2 millones de unidades de producción que enfrentaron problemas para sus actividades agropecuarias o forestales. De estas, el 77.8% identificó que las pérdidas por cuestiones climáticas son su principal problema y el 24.8% considera que su principal problema es la pérdida de fertilidad del suelo (INEGI, 2007).

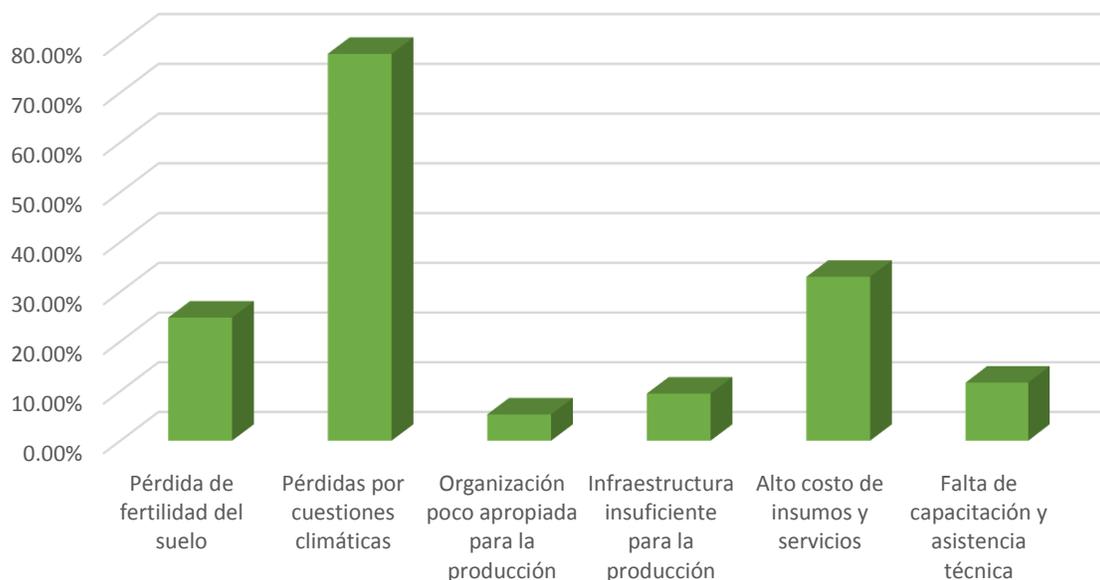


Gráfico 1. Porcentaje de unidades de producción con problemas para desarrollar la actividad agropecuaria y forestal. Fuente: (INEGI, 2007).

Los resultados de dicho censo, si bien, no indican que las pérdidas mencionadas por los agricultores estén directamente relacionadas con los efectos del cambio climático, sí demuestran la alta vulnerabilidad del sector agrícola a las variaciones de las condiciones climáticas, de las cuales ya existe evidencia científica que están siendo alteradas por las altas concentraciones de GEI liberadas a la atmósfera por la actividad humana.

### 1.3.5 El cultivo del aguacate

El aguacate destaca entre los principales cultivos frutícolas, ya que cuenta con un mercado internacional amplio, en donde presenta un creciente valor, no solo por su calidad nutritiva, sino también por las diferentes opciones para su consumo en fresco y procesado, por sus usos medicinales y su uso en la industria cosmética. Además, presenta un elevado rendimiento por unidad de superficie, sus perspectivas favorables para la exportación, su importancia en la alimentación tanto por su sabor como por sus propiedades nutricionales han elevado el interés de cada vez más productores y consumidores.

La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio que derrama entre productores, comercializadores, industrializadores y consumidores. Los huertos generan empleos al demandar mano de obra para todas las actividades que implica, tales como poda, riegos, cuidado nutritivo y fitosanitario, cosecha, empaque entre otras. La importancia del aguacate en el mercado internacional ha crecido sostenidamente, dejando de ser una fruta exótica para incorporarse en la dieta de muchos países (Teliz & Mora, 2015).

Su nombre botánico es *Persea americana* Mill, pertenece a la familia *Lauracea* de la cual es el único representante de importancia económica entre las frutas comestibles. En esta familia se incluyen

alrededor de 3,000 especies principalmente arbóreas de regiones tropicales y subtropicales, incluyendo a la canela (*Cinnamomum verum*) y al laurel (*Laurus nobilis*). El género *Persea* tiene alrededor de 150 especies distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales, especialmente en Asia, Islas Canarias y en América, donde existen alrededor de 80 especies desde el centro de México hasta Centroamérica (Sánchez, Mijares, López-López, & Barrientos-Priego, 2007).

Respecto al centro de origen del aguacate, se registra en la parte centro de México y en algunas partes altas de Guatemala, donde ya se cultivaba con anterioridad a la llegada de los españoles. En esta misma región, conocida como Mesoamérica, se llevó a cabo la domesticación del mismo. Ha sido utilizado por los pasados 9,000 años por grupos humanos, la evidencia del uso del aguacate por los primeros grupos humanos proviene de la cueva de Coxcatlán en Tehuacán, Puebla (CONABIO, 2017).

Las variedades que actualmente se conocen de aguacate se han producido por hibridaciones de distintos materiales trasladados desde sus centros de origen (Whiley, *et. al.* 2002). Se clasifica en tres subespecies o razas ecológicas: Americana, Guatemalensis y *Drymifolia*; son tres razas ecológicas que se desarrollaron en distintas áreas y que también se conocen como antillana, guatemalteca y mexicana, respectivamente. Se diferencian en la altura de planta, en la forma y tamaño del fruto, color de follaje y adaptación a diferentes condiciones climáticas y de suelo (ICA, 2012).

La raza mexicana tiene como principal ventaja la resistencia al frío, así como su alto contenido de aceite. Otras características distintivas es el olor a anís de sus hojas en casi todos los individuos. La raza Guatemalteca presenta una cáscara bastante gruesa si se compara con las otras razas, lo que permite resistencia del fruto al transporte. La semilla tiene un tamaño pequeño y forma redonda. Por su parte, la raza Antillana, se adapta al clima tropical, también tiene un lapso de flor a fruto bastante corto (Teliz & Mora, 2015).

### **I.3.5.1. Características botánicas**

El árbol de aguacate es de crecimiento rápido, es frondoso y de hoja perenne, tiene una floración muy generosa que cuaja en fruto en un porcentaje muy alto. Como promedio, el árbol de aguacate puede alcanzar una altura de hasta 20 metros; sin embargo, cuando se cultiva en plantaciones comerciales, no se deja crecer más de 5 m, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Esta especie vegetal es de tronco grueso y con hojas alargadas, con varias ramificaciones que generan un follaje denso. Se considera un cultivo perenne debido a que se cultiva durante todo el año (SAGARPA, 2017).

El fruto se describe botánicamente como una baya, de forma redonda, ovalada o periforme. La piel o exocarpo es de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro y de textura lisa o rugosa. La pulpa es color verde amarillenta con consistencia de mantequilla y posee una semilla central muy grande.

Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a pesar de 100 g y 2 kg. Posee un elevado contenido en grasas (3-30%) y moderado en proteínas (1-4%) e hidratos de carbono (1-7%) y alto valor calórico (200kcal/100g); es rico en vitaminas A, B6, E y C (Durán, 2013).

### I.3.5.2 Requerimientos Edáficos y Climáticos.

#### Requerimientos Climáticos

- **Altitud.**

El aguacate tiene una amplia adaptación a diferentes altitudes dependiendo de la raza hortícola. En el mundo tenemos tres tipos de razas. La Antillana la cual prospera desde el nivel del mar hasta 800msnm; la Guatemalteca hasta los 1200msnm y la raza Mexicana de 950 a 2,225 msnm. A través del tiempo el aguacate se ha introducido a ambientes diferentes a los de su hábitat natural, y en general se ha adaptado bien (Coria, 2009).

- **Temperatura.**

La fluctuación de temperatura es responsable de la mayor parte de la variabilidad de en la producción de aguacate.

Los requerimientos térmicos varían de acuerdo a la raza, así se tiene que la Antillana requiere una temperatura óptima entre 24 y 26°C y una mínima invernal no menor de 0°; en cuanto a la raza Guatemalteca, ésta se desarrolla en un rango de temperaturas medias que oscila de 22-25°C y la temperatura invernal no descienda de los -2°. (Sánchez *et al.*, 2000). La raza Mexicana requiere de una temperatura media óptima de 20° y una mínima invernal no menor de -4°C.

Varias fuentes reportan que el aguacate se desarrolla mejor en rangos de temperatura mínima de 10°C y una máxima de 33 a 35°C, registros superiores a estos valores tienen un efecto negativo sobre el proceso de polinización y aumento de polen estéril. Por otra parte, temperaturas inferiores a 10°C retardan la floración y fructificación, requieren temperaturas mínimas de 12-17°C y máximas de 28-30°C para la sucesión de las etapas de floración y fructificación.

- **Precipitación.**

Los requerimientos de lluvia varían dependiendo de cada raza hortícola de aguacate. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2001) la raza Antillana requiere entre 1,110 a 3,350 mm, la Guatemalteca entre 800 a 3,400mm y la Mexicana entre 650 a 2,200 mm. En general, el aguacate de manera natural no prospera en ambientes con isoyetas menores de 650 mm, por lo que al introducirse a ambientes más secos se requiere irrigación (Coria, 2009) .

#### Requerimientos edáficos.

El aguacate requiere de un suelo con buenas características químicas, físicas, biológicas y topográficas que repercutirán en el buen desarrollo de los árboles. El cultivo prospera en suelos de textura franca y ricos en materia orgánica con buen drenaje y aireación. Puede cultivarse en suelos arcillosos o franco arcillosos siempre que exista un buen drenaje, pues el exceso de humedad propicia un medio adecuado para el desarrollo de enfermedades de la raíz.

Respecto al pH debe ser neutro o ligeramente ácido, es decir entre 5.5. a 7.5, ya que es muy sensible a la salinidad y entre más alcalino, presenta más problemas para la asimilación de calcio y sodio.

El suelo más recomendado son los de textura ligera, profundos bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácidos de 5.5 a 7. También, se pueden cultivar en suelos arcillosos o franco arcillosos, siempre que exista un buen drenaje. El exceso de humedad es un medio que provoca enfermedades de la raíz, fisiológicas y fúngicas (Coria, 2009).

### **I.3.5.3 Agrohábittats**

Relacionado con las condiciones edáficas y climatológicas óptimas para el desarrollo de una especie de cultivo, se encuentra el concepto de Agrohábittat, el cual puede contribuir a identificar las zonas más propicias para establecer unidades de producción con base en sus necesidades. Dicho concepto establece que existen diversos factores que pueden ser usados como base en la regionalización; el clima, la fisiografía y el suelo son algunos de los más importantes por su influencia en las actividades productivas del hombre (Ornelas, *et al.*, 1990).

Realizar dicha regionalización con base en estos factores resulta de gran utilidad ya que permite desarrollar actividades de investigación así como aquellas relacionadas con asistencia técnica, divulgación, conservación ecológica, planeación urbana entre otras más.

En Morelos existe la clasificación de los Agrohábittats presentes en el estado, la cual fue realizada por Ornelas *et al.* en el año de 1990. Para la delimitación tomaron en cuenta tres factores de estratificación: clima, fisiografía y suelos. El tipo climático lo identifican con número romano (I, II, III, IV), la fisiografía con letra mayúscula (A,B,C) y las unidades de suelo con número arábigo (del 1 al 9).

De esta forma determinaron la superficie que ocupa cada Agrohábittat y el porcentaje que ocupa respecto a la superficie total estatal. Obtuvieron un total de 33 Agrohábittats para el estado de Morelos en donde el de mayor superficie es el I-A-8, es decir, aquel que tiene un clima cálido subhúmedo, ubicado en planicie y sobre suelo vertisol y ocupa el 27% del área estatal (que representa una superficie de) 133,890 ha.

Como queda demostrado emplear esta clasificación es esencial en la selección de los sitios ya que se tienen posean las mejores características para el buen desarrollo de los distintos tipos de cultivos, como en este caso el cultivo del aguacate, que ya anteriormente se describieron los requerimientos edáficos y climáticos, por lo que usar esta herramienta es de gran ayuda.

### **I.3.5.4 Fenología**

La forma en que los ecosistemas, plantas, animales y los seres humanos están respondiendo a los efectos del Cambio Climático aún no ha sido totalmente comprendida, por lo cual la fenología se ha convertido en un indicador esencial para conocer los impactos del clima en las especies, ya que no todas cambian a la misma velocidad (USA-NPN, 2015). Conocer las

respuestas a dichos factores abióticos ayuda a comprender mejor la relación clima-vegetación y su fenología.

Al respecto, Cornelius *et al.* (2011) mencionan que la fenología es la ciencia recurrente de los eventos naturales estacionales que pueden ser indicadores de cambios en los ecosistemas derivados del cambio climático global.

Fenología se define como el estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas (Villalpando & Ruíz, 1993). Es el término acuñado para explicar los cambios que los organismos vivos describen en función del paso del tiempo a lo largo de su ciclo de vida y son afectados directamente por el entorno meteorológico (Gastiazoro, 2004).

La repetición sincronizada con el clima de los eventos fenológicos, tales como floración, fructificación, es frecuentemente utilizada para definir las secuencias estacionales. Esta estacionalidad se refiere tanto a los cambios regulares que se presentan en el ambiente, como a las respuestas biológicas condicionadas por esos cambios en el ambiente, de tal forma que podemos entender las estaciones como un integrador natural.

Los cambios en el ambiente ejercen diferentes presiones en las plantas e influyen en forma prácticamente única en el desarrollo de cada una de las especies, dando como resultado diversas formas de crecimiento.

Los eventos fenológicos varían de acuerdo a los gradientes geográficos, zonas climáticas, tipo de vegetación y variabilidad interanual del inicio y fin de la estación de crecimiento y por lo tanto en la longitud de la estación de crecimiento, es resultado de la variabilidad del tiempo atmosférico año con año.

#### **I.3.5.4.1 Fenología del aguacate**

Los modelos o diagramas fenológicos ayudan a entender el comportamiento fenológico del aguacate (Wolstenholme & Whiley, 1989), ya que en éstos se describen los diferentes eventos que ocurren en el árbol durante el año (Whiley, 1990). Conociendo la duración e intensidad de las distintas fases fenológicas y sus interrelaciones en el tiempo, se pueden mejorar las prácticas de manejo de los huertos, como fertilizaciones, podas y riegos, entre otras, así como modificar la fecha de ocurrencia e intensidad de los flujos vegetativos y reproductivos para mejorar la productividad de los huerto (Rocha-Arroyo, Salazar-García, Bárcenas-Ortega, González-Durán, & Cossio-Vargas, 2011). La utilización del modelo fenológico debe ser la base de las investigaciones que busquen aumentar la productividad en el cultivo del aguacate.

El aguacate es una planta con crecimiento rítmico que presenta dos o más flujos de crecimiento vegetativo al año. Los flujos vegetativos (FV) y reproductivos son de intensidad y duración variables y su ocurrencia es influenciada por factores ambientales, prácticas de manejo y la cantidad de fruto presente en el árbol. En la mayoría de los países productores el cv. Hass produce uno o dos flujos vegetativos y sólo un flujo floral durante el año, sin embargo en algunos tipos de clima de Michoacán, México, el aguacate 'Hass' presenta hasta tres flujos vegetativos al año de diferente intensidad (invierno, primavera y verano) que pueden resultar en tres o cuatro periodos de floración (Rocha-Arroyo, Salazar-García,

Bárceñas-Ortega, González-Durán, & Cossio-Vargas, 2011). En Michoacán los eventos fenológicos más importantes del aguacate son la floración, los flujos vegetativos y la formación de fruto.

La relación del clima con el desarrollo de las etapas fenológicas del aguacate ha sido estudiado por algunos autores; Salazar- García *et al.*, (2016) mencionan que el clima tiene un efecto sobre las características externas de los frutos de aguacate ‘Hass’ (tamaño, forma y rugosidad de la piel), contenido de fotoquímicos y aceite.

En el aguacate los principales factores que influyen a la transición a la floración son: fotoperiodo, temperatura y disponibilidad de agua. Buttrose y Alexander (1978), investigaron el efecto de la longitud del día y la temperatura como estimulantes de la floración de aguacate “Fuerte” y demostraron que ambos, temperatura y días cortos promovieron la floración. Sus resultados también indicaron que fue la ausencia de temperatura elevada (e.g.  $> 20^{\circ}\text{C}$ ) más que la presencia de temperaturas bajas, la responsable de la iniciación floral.

Lovatt citado por Teliz y Mora (2015) menciona que la presencia de temperaturas bajas durante las etapas críticas de floración, como son la polinización, germinación y desarrollo del tubo polínico así como la fertilización del óvulo, es más determinante sobre el amarre del fruto y el rendimiento final.

Referente a la relación con el Cambio Climático, Howden *et al.* (2005) y Putland *et al.* (2010) establecen que este fenómeno puede afectar la producción de aguacate principalmente por su efecto sobre etapas fenológicas sensibles a la temperatura, como diferenciación floral, anthesis, amarre y desarrollo de fruto.

### **1.3.5.5 Importancia a nivel Internacional del aguacate**

A pesar de que el aguacate no es un producto de demanda diaria, continúa ganando popularidad en todo el mundo por sus diversas propiedades como su alto contenido en fibra, grasas monoinsaturadas, vitaminas y minerales. El perfil nutricional único del aguacate se combina con un sabor muy agradable lo que lo hace un producto con bastante éxito a nivel internacional.

La producción mundial de aguacate en el 2016 fue de 5,567,044 toneladas mientras que la superficie cosechada en ese mismo año fue de 563,916 hectáreas. México destaca como el principal productor con 1.9 millones de toneladas en el 2017 (SAGARPA, 2017). De acuerdo con datos de la FAO, el segundo país productor es República Dominicana que en 2016 reportó 563, 893 toneladas, seguido de Perú, Indonesia, Colombia, Estados Unidos, Kenia, Chile y China que conforman el grupo de los 10 principales productores (FAOSTAT, 2018).

En los últimos años el mercado del aguacate ha mostrado un crecimiento constante, se aceleró considerablemente entre 2011-2016, después de un período bastante estable con fluctuaciones leves de 2007 a 2010. México, los Estados Unidos y la República Dominicana fueron los principales países consumidores de aguacate con un consumo de 17%, 16% y 10% respectivamente.

## Producción/Rendimiento de Aguacates en Mundo + (Total)

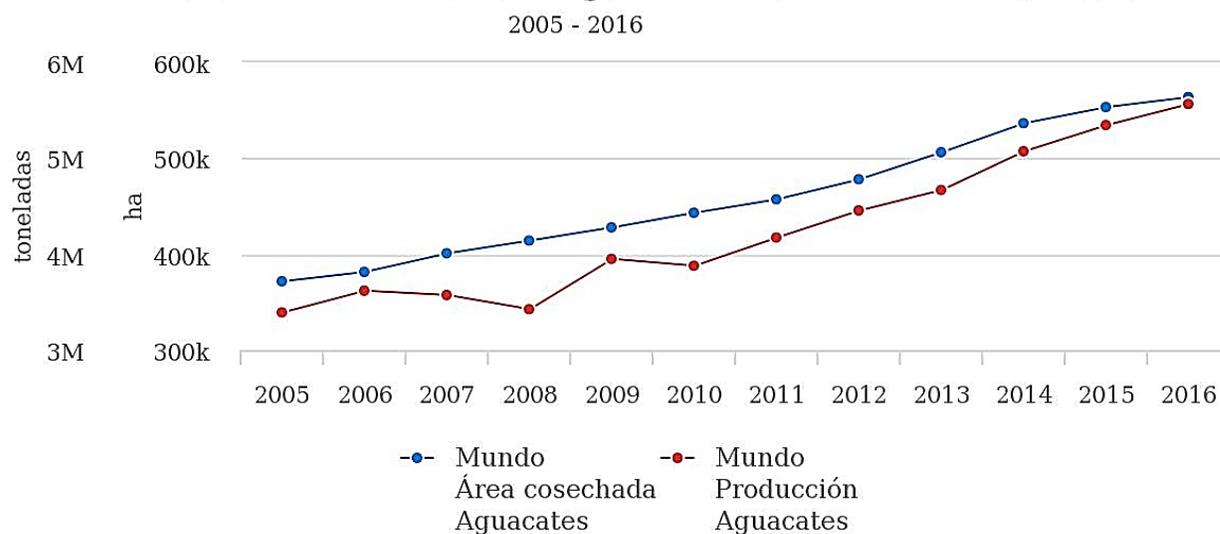


Gráfico 2. Producción/rendimiento de aguacates a nivel mundial + (Total) Periodo 2015-2016.  
Fuente: (FAOSTAT, 2018)

Las mayores tasas de crecimiento anual del consumo de aguacate entre 2007 y 2016 se registraron en República Dominicana, con un crecimiento de +14,9% y Perú, con un crecimiento de +13,4%.

Respecto al volumen de las importaciones mundiales, la cifra ascendió a 1.910.000 toneladas, con un valor de 4.811 millones de dólares en 2016. El principal país importador de aguacate es Estados Unidos (821.000 toneladas), lo que representó cerca del 43% de las importaciones mundiales. Le siguieron, de lejos, los Países Bajos (186.000 toneladas), Francia (134.000 toneladas), el Reino Unido (96.000 toneladas), España (87.000 toneladas), Canadá (78.000 toneladas) y Japón (74.000 toneladas) (FAOSTAT, 2018).

### 1.3.5.6 Industrialización del aguacate

El aguacate, presenta una variada posibilidad de usos como productos industrializados entre otros: pulpas como base para productos untables, tanto frescas como refrigeradas o congeladas, mitades congeladas, y obtención de aceite, tradicionalmente para fines cosméticos, pero este último tiempo se ha incrementado la producción de aceite extra virgen para fines culinarios, teniendo un gran potencial futuro por sus propiedades.

**Pulpas congeladas y refrigeradas.** El puré de aguacate congelado ha sido el que ha tenido un mayor volumen de producción, al ser utilizado como base para productos untables en canapés, papas fritas, y galletas saladas entre otras. También este producto constituye la base del Guacamole, muy popular en México, país con mayor consumo en el mundo, y ahora también en Estados Unidos y Europa. Los productos congelados de aguacate, pueden ser almacenados por 8-10 meses, sin embargo su calidad comienza a decrecer después de los 3 meses de almacenaje (Olaeta, 2003).

**Aceite de aguacate.** El aguacate, dependiendo de la variedad alcanza en la pulpa niveles de hasta 25% de aceite, con valores promedios de 15-19%, lo que permite lograr rendimientos de alrededor de 10% de la fruta fresca. Debido a su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, se ha comparado en la calidad nutricional con el aceite de oliva. El aceite de aguacate se usa de distintas formas:

- **Industria cosmética:** Contiene un esteroil llamado fitosterol, que posee las mismas habilidades que la lanolina. Esta particularidad es muy apropiada para la piel y cremas de masajes. También es usado como rehidratante para la piel seca y combatir las arrugas, mejorar el cutis. Por otra parte debido a su contenido de vitamina A, D y E, se incorporan en fórmulas cosméticas y para productos de belleza.
- **Industria alimentaria:** La tendencia es utilizar en forma creciente el aceite de aguacate para uso culinario, por tener entre otras cualidades: un alto punto de humo, excelente sabor y un color verde muy atractivo, siendo preferido por los chef de cocina de la alta gastronomía europea, sustituyendo al aceite de oliva. Presenta mayores niveles de: clorofila, Índice de Yodo, Vitamina E y un menor nivel de acidez libre, lo que constituye una mejor calidad.
- **Industria farmacéutica:** Se utiliza como base para pomadas, ungüentos y bálsamos, y en suplementos alimenticios. Debido a su contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados la ingesta de aceite de aguacate puede disminuir los niveles de colesterol y lipoproteína de baja densidad (LDL) en sangre; aporta además ácidos grasos omega-3 y omega-6. Estudios recientes revelan que las cáscaras de las semillas de aguacate poseen compuestos medicinales que podrían utilizarse para tratar el cáncer y enfermedades del corazón (SAGARPA, 2011).

### I.3.5.7 Importancia del aguacate en México

El aguacate es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, ocupa el lugar 17 de las 20 frutas más exportadas del mundo, esto debido a que su consumo mundial se ha incrementado y el mexicano es el que es más demandado. A nivel internacional, México es el primer productor y exportador mundial con una aportación de 45.95% del valor de las exportaciones mundiales, seguido de Chile, España e Israel. Esto lo convierte en uno de los productos más exitosos de la exportación agroalimentaria nacional (SAGARPA, 2017).

En México, el aguacate es uno de los principales cultivos permanentes, es el octavo lugar en cuanto al volumen de producción, después de otros productos primarios como la caña de azúcar, alfalfa, naranja, plátano, limón, café y mango (SIAP, 2015). Se estima que la industria aguacatera genera más de 100 mil empleos directos e indirectos, siendo además una entrada de divisas (King, 2018).

La producción nacional de aguacate ha presentado un importante progreso año con año; para diciembre de 2017 la producción fue de un millón 997 mil toneladas, 6% por arriba que la cosechada en el mismo mes del año anterior. La superficie total cosechada del aguacate se incrementó 8.8%, que equivale a 15 mil 700 hectáreas más que las cultivadas en diciembre de 2016.

A nivel nacional la producción de aguacate abarca una superficie de 178,990.95 hectáreas, con un rendimiento promedio de 9.92 tonelada por hectárea y está liderada por Michoacán, el cual aporta el 77% de la producción total del fruto que se genera en el país, teniendo un

rendimiento de 1, 541, 000 toneladas, seguido de los estados de Jalisco con una producción de 170,000 toneladas, Estado de México con una producción de 103,000 toneladas, Nayarit con una producción de 49,000 toneladas y el estado de Morelos con una producción de 33,000 toneladas (SIAP, 2017).

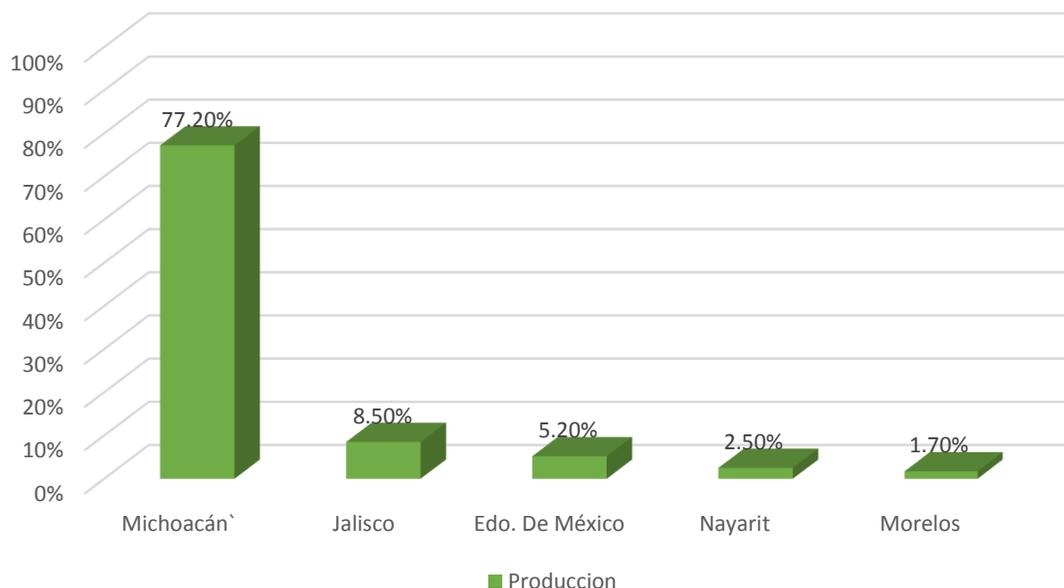


Gráfico 3. Porcentaje de producción de aguacate de los principales productores a nivel nacional. Fuente: (SIAP, 2017)

### Exportaciones

En el plano internacional, México juega un papel importante en la producción y exportación del aguacate, especialmente a partir de la apertura de la frontera del país con Estados Unidos, quien es el mayor importador de la fruta, ya que es por mucho el mayor consumidor de aguacate mexicano. La cifra por las exportaciones a Estados Unidos es de 1,710.9 millones de dólares anualmente (Secretaría de Economía) Se estima que de cada 10 aguacates que México vende al exterior, ocho van a parar al mercado estadounidense.

Además de Estados Unidos los principales países a los que México exporta aguacate son Japón, Canadá, España, Francia y Holanda. De acuerdo a lo reportado por el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, de los 10 principales mercados a donde se exporta el aguacate, en ocho mostraron un aumento en la demanda por esta fruta, destacando Holanda, que tuvo un aumento de 284 por ciento; España, que se disparó 141 por ciento; Hong Kong, con una dinámica de 113 por ciento; además de Japón y Canadá, con crecimientos de 46 y 45 por ciento, respectivamente (CEDRSSA, 2017).

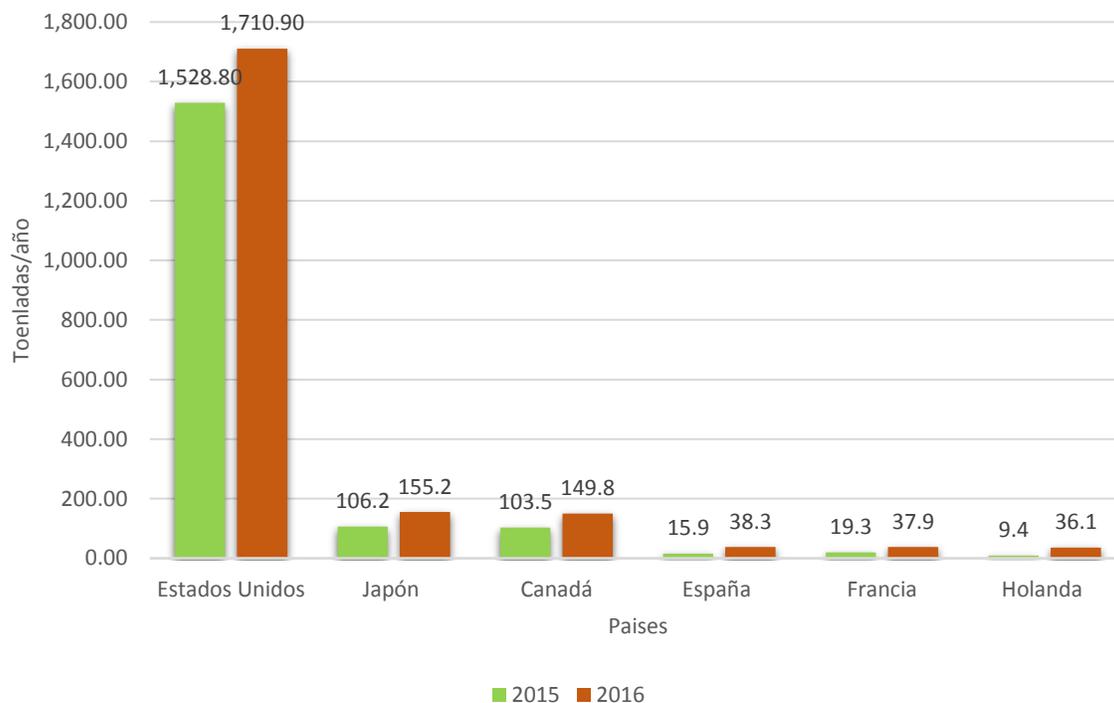


Gráfico 4. Principales países a los que México exporta aguacate y comparación de la cantidad exportada entre 2015 y 2016. Fuente: (CEDRSSA, 2017)

### I.3.5.8 Importancia del aguacate en Morelos

La producción de aguacate en Morelos representa una actividad de gran importancia para el estado ya que genera importantes beneficios económicos y sociales para la población dedicada a esta actividad. El SIAP reporta para el año 2015 una superficie de 3,963 ha que producen con un volumen de producción de 29, 548 toneladas. Respecto al rendimiento promedio, se establece que es de 8.25 ton/ha, con un costo de \$13,292.29 pesos por tonelada, lo que arroja un valor de producción de \$329,878.81 millones de pesos.

Se estima que en Morelos hay alrededor de 3,500 productores y que la gran mayoría de las huertas se encuentran ubicadas en los municipios de Ocuilco, Tetela del Volcán, Tepoztlán, Cuernavaca, Yecapixtla, Tlalnepantla, Zacualpan de Amilpas y Totolapan.

La cadena aguacate en Morelos es parcialmente descrita por Osorio *et. al.* (2005), quienes distinguen que Ocuilco, Tetela del Volcán, Tlalnepantla y Yecapixtla concentran el 96% de la superficie plantada y de la producción estatal. Otro aspecto importante sobre las condiciones de producción del aguacate en el estado es que la superficie bajo riego no rebasa el 5%.

De forma general, los rendimientos varían desde 8 hasta 12 ton/ha. Por su parte, el precio de aguacate en campo es de alrededor de \$ 4.00/kg en diciembre y enero y llega hasta \$ 12.00/kg en junio y julio. En el estado, la primera temporada de cosecha de Hass es de octubre a marzo con el 70% y la segunda de junio a agosto con el restante 30%.

Respecto al destino que tiene la producción, se estima que del total sólo el 80% se cosecha para mercado; el 70% del cosechado se comercializa en mercados municipales y de ahí hacia México, D.F., Puebla y Guerrero mientras el 30% es vendido en árbol. Los precios distinguen calidad por tamaño y daño pero no hay marcas ni presentación de empaque. Los productores están organizados en 17 SPR's que a su vez conforman el Consejo Estatal de Productores de Aguacate de Morelos (CEPAMOR).

Las características fisiográficas de los terrenos donde se encuentran establecidas las plantaciones, son laderas, llanos y montañas; cuenta con varios subtipos climáticos que van desde el cálido húmedo hasta el semifrío. La región productora de aguacate dispone de dos tipos de suelos que favorecen su desarrollo, Andosoles y Regosoles.

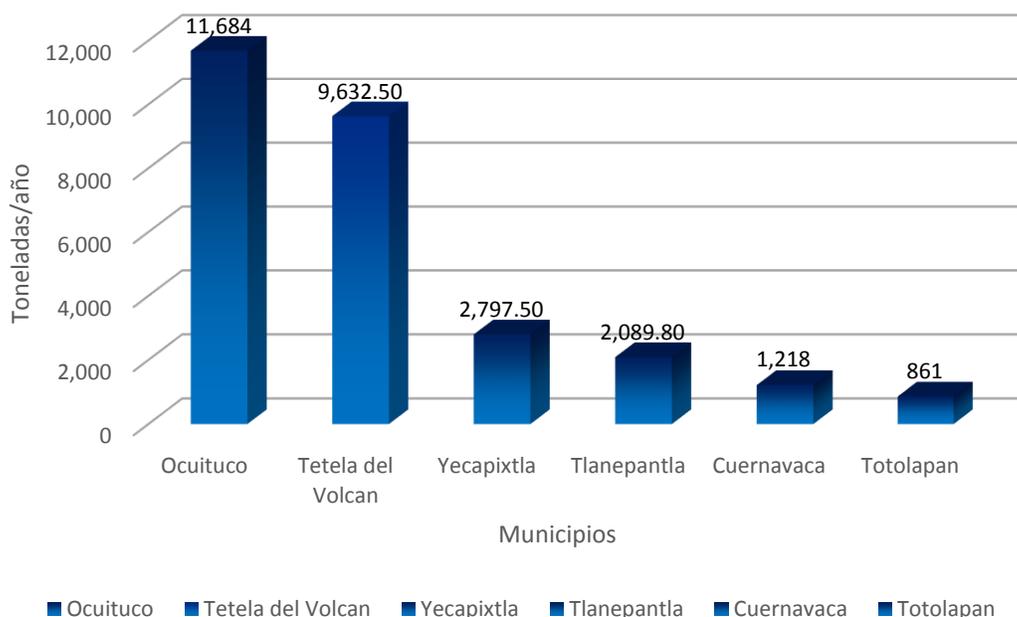


Gráfico 5. Producción de los principales municipios productores de aguacate en Morelos, 2015. Fuente: (SIAP 2015)

## CAPÍTULO 2

### II.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

La FAO ha calculado que la producción agrícola tendrá que aumentar en un 60 por ciento en 2050 para alimentar al planeta (FAO, 2017). Frente a esta situación, se requiere de un incremento en la productividad agrícola a fin de satisfacer el consumo alimentario. Sin embargo, ampliar los rendimientos agrícolas estará subordinado a los efectos negativos del cambio climático tales como el incremento de la temperatura, la mayor frecuencia de eventos extremos y la reducción de la precipitación.

Los productores agrícolas se enfrentan ante el reto de ser competitivos en el ámbito comercial y productivo, a las amenazas e incertidumbre del comportamiento del mercado, se suman los factores hidro-meteorológicos. Por lo que el efecto del cambio climático constituye un

elemento más para superar Sobre la base de muchos estudios que abarcan un amplio espectro de regiones y cultivos, los impactos negativos del cambio climático en el rendimiento de los cultivos han sido más comunes que los impactos positivos (Zhindon, Massa, & Bonilla, 2017).

La industria aguacatera del Estado de Morelos tiene un alto potencial de desarrollo debido a sus características de suelo, ubicación geográfica y altitud. Sin embargo, puede verse afectada por varios factores en su producción y uno de ellos por las variaciones del clima causadas por el cambio climático que se está presentado actualmente con un mayor impacto. Los efectos negativos de dicho fenómeno en la producción serían de gran magnitud, considerando que este sector está conformado por productores, comerciantes, consumidores y que es una actividad económica importante para los municipios productores de Morelos.

Como ya ha sido establecido en diversos estudios, los impactos del Cambio Climático son múltiples, heterogéneos entre países y subregiones con un comportamiento no lineal, de diferentes magnitudes y muy significativos, lo cual representa un reto determinar la magnitud de los impactos en regiones determinadas como en este caso en el estado de Morelos y las zonas productoras de aguacate.

El problema que se planteó abordar en la presente investigación fue en primera instancia determinar la presencia de alteraciones de las variables climáticas como posible consecuencia del Cambio Climático a nivel local y posteriormente identificar cómo afectan la fenología del aguacate en dos zonas productoras del estado de Morelos.

Lo anterior cobra relevancia ya que las etapas fenológicas determinan aspectos esenciales en el manejo del cultivo de aguacate, tales como aplicación de fertilizantes que son requeridos fundamentalmente en momentos específicos como en la floración, formación del fruto. Los impactos podrían repercutir en el rendimiento de la producción lo que ocasionaría pérdidas económicas. Por otra parte los productores se verían en la necesidad de buscar alternativas para la adaptación a esta problemática, como modificaciones a las estrategias de producción como en la fertilización, infraestructura y manejo lo que se traduciría en una afectación en la relación costo-beneficio.

## II.2. JUSTIFICACIÓN

Una de las principales actividades económicas de Morelos es la producción agrícola, en donde el cultivo de aguacate tiene presencia en varios municipios del estado y es una actividad a la cual se dedican numerosos productores. Este cultivo resulta de gran importancia para el estado ya que a nivel nacional es el quinto lugar en volumen de producción además que es un producto con calidad de exportación que genera ingresos a los distintos sectores que se dedican a esta actividad.

La importancia de realizar el presente estudio es conocer si realmente hay variación en los elementos del clima originada por el camino climático y saber si afecta el desarrollo del aguacate y de ser así, determinar en qué forma y estimar el posible impacto de dichas alteraciones. Por su parte identificar las etapas fenológicas del aguacate es fundamental para el adecuado manejo de las huertas, sin embargo no hay estudios referentes a este aspecto. La

información generada a partir de este análisis puede resultar de utilidad a los productores al conocer como esta actuad estos efectos en su producción y que sea posible tomar medidas para reducir dichos impactos.

Es importante destacar que se han realizado numerosos estudios sobre la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas ante las variaciones climáticas, principalmente en cultivos como maíz, la cual es la especie más estudiada en este tipo de investigaciones, caña de azúcar, y arroz. Sin, embargo estudios realizados en árboles frutales son más reducidos; específicamente en aguacate, durante la revisión bibliográfica se hallaron pocos estudios enmarcados en este tipo de análisis y casi en su totalidad realizados en el estado de Michoacán debido a su gran importancia como estado líder de producción de aguacate a nivel internacional.

En particular, en Morelos no se han realizado estudios que permitan establecer modelos fenológicos sobre el aguacate así como tampoco los hay sobre la vulnerabilidad del sector agrícola ante el impacto del cambio climático. Realizar dicha evaluación en el cultivo de aguacate es pertinente debido a su importancia del cultivo en el estado. Debido a lo anterior se demarca la necesidad de generar estrategias que permitan determinar métodos para cuantificar los posibles impactos negativos, por motivo de la variación en la producción y, con ello, proveer acciones que permitan la correcta adaptabilidad de los sectores de la economía.

Realizar estudios del impacto del cambio climático en la agricultura y la vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático en diferentes regiones, específicamente en Morelos es de gran importancia para adaptarse de manera proactiva al cambio climático, desarrollar medidas de adaptación efectivas y garantizar el desarrollo agrícola sostenible, y también para proporcionar una base científica que apoye en la toma de decisiones

## **II.3 OBJETIVOS**

### **II.3.1 Objetivo General**

Identificar las modificaciones en la Temperatura y precipitación en tres periodos de tiempo y determinar su posible impacto en la fenología del aguacate en tres huertas ubicadas en los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán, Morelos.

### **II.3.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar las condiciones actuales del manejo, desarrollo y fenología del aguacate.
2. Conocer las condiciones de precipitación y temperatura, a partir de una línea base de 1956-1960 y compararlas en periodos de 30 años hasta las condiciones actuales.
3. Describir los agrohábittats presentes en los sitios de estudio ubicados en 2 municipios de Morelos.
4. Analizar la relación entre las variables climáticas -T°, PP y Hr- con base a registros históricos y en los sitios experimentales con la fenología del aguacate.

## CAPÍTULO III

### III.1 ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

El enfoque metodológico propuesto para la presente investigación fue de carácter exploratorio y combinó instrumentos de carácter cualitativo (descripción del manejo de las huertas y modelos fenológicos) y cuantitativo (análisis de las variables climáticas). Dentro del marco metodológico se incluye un proceso descriptivo orientado a la caracterización de los sistemas de producción del cultivo de aguacate y su relación con el clima.

#### III.1.1 Delimitación del estudio

Dado que el universo de estudio es muy amplio es necesario realizar delimitaciones respecto a los factores que intervienen en la presente investigación los cuales son variedad de aguacate, área de estudio, temporalidad, variables climáticas y etapas fenológicas

##### III.1.1.1 Área de estudio

Cuernavaca es uno de los 33 municipios que conforman el estado de Morelos, pertenece a la región norponiente, limita al norte con el municipio de Huitzilac, al nororiente con Tepoztlán, al oriente con Jiutepec, al suroriente con Emiliano Zapata, al sur con Temixco y al poniente con el Estado de México.

Se ubica entre  $18^{\circ} 50'$  y  $19^{\circ} 2'$  de latitud norte y a los  $99^{\circ} 11'$  y  $99^{\circ} 20'$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud promedio de 1831 metros sobre el nivel del mar. La superficie, calculada es de 205 kilómetros cuadrados, cifra que representa el 4.9% de la superficie de todo el estado (Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio del Municipio de Cuernavaca, Morelos, 2018).

Tetela del Volcán es uno de los 33 municipios que conforman el estado de Morelos, se ubica en el extremo noreste y en las faldas del volcán Popocatepetl, limita al oeste con el municipio de Ocuilco y al sur con el municipio de Zacualpan de Amilpas, al norte con Ecatzingo y Atlautla municipios del Estado de México, al este con Tochimilco y Atzitzihuacán del estado de Puebla.

Su ubicación esta entre  $18^{\circ}49'$  y  $19^{\circ} 01'$  de latitud norte y  $98^{\circ} 47'$  de longitud oeste, la altitud varia de los 1 700 a los 5000 metros sobre el nivel del mar. La extensión territorial total es de 98.5 kilómetros cuadrados

El presente estudio se realizó en tres huertas del estado de Morelos, dos de ellas ubicadas en el municipio de Cuernavaca y la tercera en el municipio de Tetela del Volcán. Los criterios de selección de las huertas a estudiar se basan en que todas ellas se cultiva la misma variedad de aguacate, la cual es Hass, así como que son huertas que actualmente se encuentran en plena producción lo que permite enfocar el estudio en los factores climáticos que influyen en el desarrollo de los árboles. Por otra parte en los sitios seleccionados se cuenta con infraestructura que posibilita la medición de las variables a analizar.

El primer sitio se localiza en la comunidad de Chamilpa, del municipio de Cuernavaca. Se ubica en las coordenadas  $19^{\circ}14'58''$  de Latitud Norte  $99^{\circ}14'28''$  de Longitud Oeste

El sitio dos se encuentra en las instalaciones del “Monasterio Benedictino Nuestra Señora de los Ángeles”, ubicado en Privada San Benito S/N, en la colonia Ahuatepec, Código postal 62,300 Cuernavaca, Morelos, México. Ubicada en las siguientes coordenadas: 18° 58′ 31′ de Latitud Norte 99° 12′ 50′ de Longitud Oeste a una altura de 1,810 msnm.

El tercer sitio se encuentra en el ejido de Tetela del Volcán, del Municipio de Tetela del Volcán. Las coordenadas de su ubicación son 18°53'54"Latitud 98°43'14."Longitud a una altura de 2,057 msnm.

### **III.I.1.2 Elementos climáticos a analizar**

Los factores que influyen el adecuado desarrollo del cultivo de aguacate son variados, sin embargo la presente investigación se centró únicamente en el análisis de las condiciones climáticas de Temperatura, Precipitación y Humedad relativa. Lo anterior debido a que estas variables climáticas juegan un papel importante en el desarrollo y producción del aguacate como se estableció en los capítulos anteriores.

### **III.I.1.3 Temporalidad**

Para determinar la presencia de alteraciones de las variables climáticas seleccionadas como consecuencia del cambio climático, se realizó un análisis de los datos históricos registrados en los sitios de estudio en tres periodos: de 1956 a 1960, el segundo corresponde a los años de 1986 a 1990 y el actual a 2016 al 2018. Posteriormente se compararon para conocer las diferencias entre estos tres periodos de tiempo.

### **III.I.1.4 Fenología**

Respecto a la comparación de las etapas fenológicas del aguacate se considerarán tres de ellas, la floración, la formación del fruto y desarrollo vegetativo, esto debido a que son consideradas como las más representativas y por lo tanto han sido más documentadas. Se analizaron estudios que se han llevado a cabo en los estados productores de México, en particular en el Estado de México por la cercanía y similitud de condiciones agroclimáticas con el Estado de Morelos.

### III.I.2 Esquema de las etapas a seguir

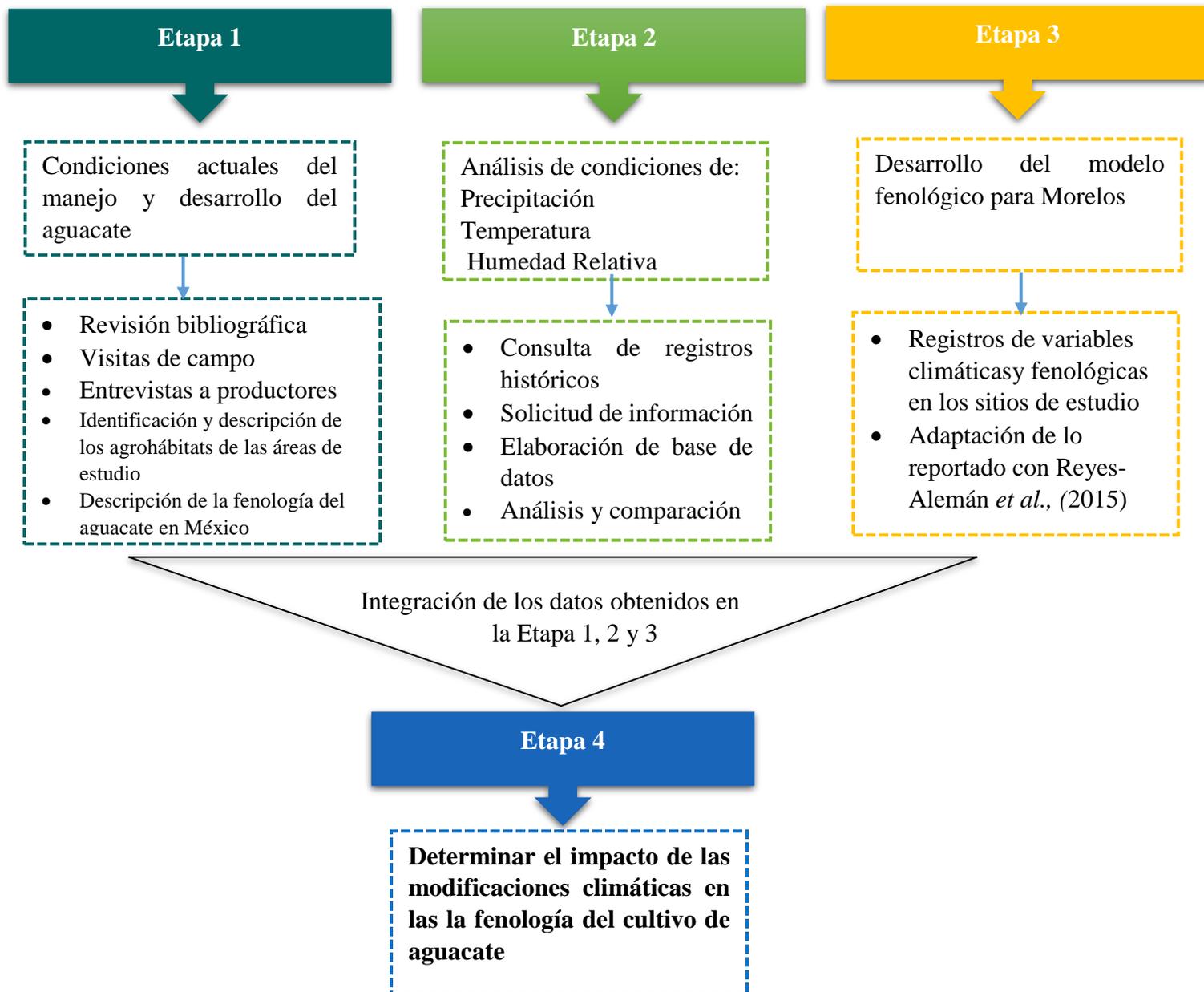


Figura 3. Proceso metodológico a seguir

### III.1.3 Descripción de las etapas

#### III.1.3.1. Etapa 1. Condiciones del manejo y desarrollo

Para alcanzar el primer objetivo propuesto en la presente investigación se realizó una revisión de fuentes primarias y secundarias para obtener información esencial de las condiciones propicias para el desarrollo del aguacate en los sitios de estudio, así como las actividades que implican en su manejo. Con los datos recabados en esta etapa, se establecieron las bases para un análisis posterior que involucra la integración con las condiciones climáticas observadas.

Revisión bibliográfica: Se consultaron fuentes oficiales, artículos académicos, libros, revistas científicas sobre:

- Los diferentes agrohábitats presentes en los sitios a estudiar
- El comportamiento fenológico del aguacate en los estados productores de México y específicamente en Morelos

Visitas de campo: Para complementar esta etapa se realizaron visitas de campo a las huertas seleccionadas. Dichas vistas sirvieron para realizar observaciones de los sistemas productivos sobre el manejo.

Entrevistas: Durante esta etapa se realizaron entrevistas semiestructuradas a los productores sobre el manejo que realizan.

#### III.1.3.2 Etapa 2. Condiciones de Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa

El posible efecto del cambio climático a nivel local se analizó en dos variables: Temperatura y Precipitación; es decir, si realmente se registran cambios en las temperaturas y si realmente existe también, cambios significativos en la distribución y cantidad de lluvias, en la zona seleccionada para el estudio.

Para la realización de dicho análisis se empleó una adaptación de la metodología propuesta por Tapia-Vargas *et al.* (2011) quienes establecen que se requiere un periodo como línea base para el análisis, así como un periodo actual para realizar la comparación y establecer la existencia o no de diferencias significativas entre las distintas épocas.

El período de promedio habitual para estudiar el clima es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). Con base en dicha información, los intervalos de tiempo se establecieron cada 30 años para que representen apropiadamente el comportamiento del clima en el contexto local del estudio.

Los periodos seleccionados para realizar el análisis se establecieron de acuerdo a la información disponible en los registros históricos diarios de las variables a estudiar (Temperatura, Precipitación) y siguiendo la metodología previamente mencionada. Los periodos para Cuernavaca y Tetela del Volcán son los siguientes.

Tabla 1. Periodos para el análisis de las modificaciones de las variables climáticas.

	Cuernavaca	Tetela del Volcán
A	1956-1960	No disponible
B	1986-1990	1986-1990
C	2016-2018	2016-2018

### Recopilación de la información climatológica

Para obtener los registros históricos de las variables estudiadas se realizó una solicitud de información pública dirigida a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través de la Plataforma Nacional de Transparencia.

De forma paralela se acudió a las oficinas de la Subdirección de Redes de Medición y Sistemas de la CONAGUA, ubicadas en el municipio de Cuernavaca. Se obtuvieron los registros históricos en distintos formatos digitales, lo que permitió complementar la información sobre los registros actualizados hasta el año 2019 de las variables de estudio.

Se seleccionaron las estaciones que se encontraban más cercanas a los sitios de estudio y de las cuales se extrajeron los registros de las variables de:

- Temperatura máxima y mínima
- Precipitación

Se aplicó un control de los datos de las estaciones climatológicas, para ello se revisaron las serie completas de datos, de tal manera que no tuviera datos anómalos como valores de temperatura inconsistente, por ejemplo temperatura máxima menor que la temperatura mínima o valores de precipitación menores que cero.

### Análisis de la información climatológica

#### Análisis estadístico

Para hacer el análisis espacio temporal de los datos obtenidos, se agruparon por localidad, periodo, año, mes, ppm, tmax, tmin, posteriormente se realizó un análisis de varianza con el programa SAS ("Statistical Analysis System"), para determinar la existencia de interacción y diferencias significativas en las dos estaciones meteorológicas de Cuernavaca y Tetela del Volcán. Asimismo la prueba estadística empleada fue la de LSD de Fisher para encontrar diferencias entre las medias de los valores de los parámetros (0.05).

Para ello se analizaron por separado las dos localidades Cuernavaca y Tetela, como tratamientos los años y bloques los meses, posteriormente, las localidades por separado los periodos como tratamientos y los meses como bloques. Por último el análisis temporal combinado.

#### Índices de Cambio Climático

Para complementar el análisis de los datos históricos de temperatura y precipitación se usó el software RClimdex, el cual calcula 27 índices básicos recomendados por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para "Climate Change Detection Monitoring and Índices"

(ETCCDMI) así como también otros índices de temperatura y precipitación con límites definidos por el usuario.

RClimDex realiza un control de calidad como prerrequisito para el cálculo de los índices. Este consta en reemplazar todos los datos faltantes (codificados como -99,9) en un formato interno que reconoce R y a continuación reemplaza todos los valores no razonables por NA:

- Cantidades de precipitaciones diarias menores que cero
- Temperaturas máximas diarias menores que las temperaturas mínimas diarias.

Adicionalmente, este control de calidad también identifica valores extremos (outliers) en temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario.

La serie de índices resultantes son almacenados en un subdirectorío titulado índices en formato Excel. Para propósitos de visualización, se graficaron series anuales, junto con tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida) y regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada). Estadísticas del ajuste de curvas lineal se muestran en los gráficos. La serie es estadísticamente significativa ( $p\text{-value} < 0,05$ ) y con tendencia positiva

Tabla 2. Índices utilizados para el análisis de los registros históricos en Cuernavaca y Tetela del Volcán.

<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Definición</b>
<b>Tx90p</b> Porcentaje de de días cálidos	%	Porcentaje del tiempo en el que la Temperatura máxima supera al percentil 90 de datos diarios.
<b>WSDI</b> Indicador de duración del período cálido	Días	Conteo anual de días (por lo menos 6 días consecutivos) en que la temperatura máxima (TX) > percentil 90 (duración de periodos calientes)
<b>PRCTOT</b> Precipitación total	mm	Acumulado de la precipitación total anual
<b>Rx5day</b>	mm	Máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos

### **Determinación de los índices de agresividad y concentración de la lluvia**

- Índice Modificado de Fournier (IMF)

Este índice fue propuesto por Arnoldus (1977), fundamentado en el hecho que no sólo el mes de mayor precipitación produce erosión superficial, sino que hay meses con menores cantidades de precipitación que también producen erosión. El IMF se aplica a precipitaciones anuales y mensuales y se presenta una aproximación al establecimiento de un factor de agresividad de la lluvia. Los valores que se pueden obtener con este índice se muestran en la Tabla 2. Su cálculo relaciona las

precipitaciones mensuales con las anuales y está representado por la siguiente ecuación:

$$IMF_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_{ij})^2}{P_j}$$

**Donde:**

$IMF_j$  = Índice modificado de Fournier en el año j

$P_{ij}$  = Precipitación del mes i, en el año j

$P_j$  = Precipitación total del año j

Tabla 3. Clasificación para el índice Modificado de Fournier

IMF	
Rango	Clasificación
< 60	Muy baja
60-90	Baja
90-120	Moderada
120-160	Alta
>160	Muy alta

- **Índice de concentración de las precipitaciones (ICP)**

Con el fin de determinar la variación temporal de la distribución de lluvias, se calculó el ICP mediante la siguiente ecuación:

$$ICP = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} P_{ij}^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_{ij})^2}$$

Donde:

$ICP$  = Índice de concentración de las precipitaciones

$P_{ij}$  = Precipitación del mes i, en el año j

Los resultados del ICP pueden ser clasificados según los valores mostrados en el Tabla 3. Un valor bajo del ICP indica que la lluvia tiene una distribución uniforme, mientras que valores más altos indican una mayor concentración de la precipitación. Así, los límites teóricos del ICP son 8,3 % cuando la lluvia de cada mes del año es la misma, y 100 % cuando toda la lluvia del año ocurre en un solo mes.

Tabla 4. Clasificación para el Índice de Concentración de la Precipitación

ICP	
Rango (%)	Clasificación
8.3-10	Uniforme
11-15	Moderadamente estacional
16-20	Estacional
21-50	Altamente estacional
51-100	Irregular

### Registro de datos actuales en los sitios de estudio

Para complementar la información respecto a las variables climáticas y para la elaboración del modelo fenológico en el estado de Morelos, se tomaron registros diarios de Temperatura máxima y mínima, así como de Humedad relativa máxima y mínima en cada uno de los sitios de estudio.

Los registros iniciaron a partir del 1 de abril del año en curso y se realizó con un termómetro digital con sensor de temperatura y humedad marca “Radioshack”, que permite llevar a cabo las mediciones de temperatura y humedad relativa máxima y mínima del momento en que se evalúan dichas variables. Cabe hacer mención que se estableció un área específica que corresponde a un árbol dentro de la huerta para realizar los registros, por otra parte, el horario para la medición fue entre las 2 y 3 de la tarde, procurando que se efectuaran a la misma hora.

Para el caso del sitio 3 que corresponde a la huerta en Tetela del Volcán, se cuenta con equipo que permite la medición de manera automática de las variables de estudio diariamente y cuyo sistema genera una base de datos a la cual se tiene acceso. Lo anterior debido a que dicho equipo forma parte de un proyecto de investigación que realiza la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) en colaboración con el Colegio de Postgraduados de Chapingo (COLPOS) y la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro).

Los datos recabados muestran las condiciones de temperatura y humedad relativa en cada uno de los sitios y con base a dicha información será posible realizar un comparativo del comportamiento fenológico entre cada uno de ellos.

#### III.1.3.3 Etapa 3. Fenología

A partir de los modelos fenológicos encontrados en la literatura, se realizó una adaptación para describir la fenología del cultivo de aguacate. Para este fin se registraron la temperatura y humedad relativa en los tres sitios experimentales.

Se eligieron al azar 3 árboles en cada uno de los sitios de estudio con un porte similar de crecimiento, los cuales fueron marcados para ser identificados. Los árboles seleccionados se dividieron de acuerdo a los cuatro puntos cardinales (norte, sur, este y oeste), se registraron observaciones de las variables de crecimiento vegetativo, de floración y crecimiento del fruto. Los registros comenzaron a partir del mes de agosto y se realizaron por intervalos quincenales.

En cada árbol se señalaron por orientación cardinal en la parte media una rama, identificando en cada una de ellas un brote vegetativo al cual se le colocó una marca indicando el inicio del mismo.

De cada rama seleccionada se tomaron datos como longitud y diámetro de la parte basal así como, del brote. La longitud se obtuvo con una cinta métrica desde la base de la rama al inicio del brote y desde este punto hasta el punto final del mismo. El diámetro fue medido en la base de la rama y del brote de crecimiento del flujo de verano con un Vernier digital marca Traceable en milímetros.

Así mismo en cada brote se contabilizaron la aparición de hojas nuevas, flores y frutos, identificando los cambios ocurridos en cada uno de ellos.



Figura. Medición del diámetro y longitud.

Estos datos fueron registrados en una base de datos en Excel con la finalidad de su posterior interpretación. El estudio de referencia para la realización del modelo fenológico es el reportado por Reyes-Alemán *et al.*, (2015), esto debido a que se llevó a cabo en el Estado de México y por lo tanto es el más cercano y con las condiciones más similares al Estado de Morelos.

#### III.1.3.4 Etapa 4.

Como etapa final, a partir de la información recabada en se identificaron los posibles impactos que las variaciones de las condiciones de Temperatura, Precipitación y Humedad Relativa pudieron haber tenido sobre el desarrollo del cultivo de aguacate.

Al realizar el análisis de las condiciones que se requieren para el desarrollo del aguacate en comparación con las condiciones que se presentaron en los periodos analizados se determinó si las modificaciones del clima tuvieron un efecto negativo o incluso positivo en la producción de aguacate.

## CAPÍTULO 4

### IV.1 . RESULTADOS

#### IV.1.1. Agro hábitats de los sitios de estudio

Los agro hábitats presentes en los sitios de estudio fueron definidos con base en la metodología propuesta por Ornelas *et al* (1990) quienes consideran el clima, el suelo y fisiografía para su determinación. A continuación se presenta la descripción de cada uno de ellos

La Huerta uno se ubica en el municipio de Cuernavaca, en el poblado de Chamilpa a 1903 msnm y en las coordenadas 19°14'58'' de Latitud Norte y 99°14'28'' de Longitud Oeste. La superficie de la huerta es de una hectárea y la edad de los árboles es de 9 años. El agrohábitat identificado para este sitio corresponde al II-C-1, es decir con clima semicálido, la fisiografía corresponde a sierras y con una unidad de suelo perteneciente a los andosoles, los cuales son formados a partir de cenizas volcánicas y son ácidos.



Figura 4. Sitio 1. Chamilpa, Cuernavaca.

La Huerta dos está localizada en Cuernavaca, dentro de las instalaciones del Monasterio Benedictino “Nuestra Señora de los Ángeles”. Las coordenadas del sitio son 99°12'50'' y 18° 58'31' y se encuentra a una altura de 1810 msnm. La superficie de la huerta es de una ha. y los árboles tienen una edad de 18 años. El agrohábitat que le corresponde es el II-C-1, lo que indica un clima semicálido, sierras y la unidad de suelo se refiere al de tipo andosol. Formados a partir de cenizas volcánicas y son ácidos.



Figura 5. Sitio2. Ahuatepec, Cuernavaca.

La Huerta tres se encuentra en el municipio de Tetela del Volcán 18°53'54.3" de Latitud Norte 98°43'14.7 Longitud Oeste y es la que se ubica a una mayor altura de 2057 msnm. Al igual que el resto de las huertas de estudio, abarca una superficie de una hectárea y los árboles tienen una edad de 11 años. El agrohábitat identificado para esta huerta fue el IV-C-5 que corresponde a un clima semifrío, con una fisiografía de sierras y con suelo de tipo litosol, Suelos delgados (menos de 10 cm) pedregosos, de topografía accidentada.



Figura 6. Sitio 3. Tetela del Volcán.

Tabla 5. Descripción de los agrohábitats de los sitios de estudio

	Altura	Agrohábitat	Clima	Unidad de Suelo	Fisiografía
<b>Sitio 1.</b> <b>Chamilpa</b> 19°14'58" de Latitud Norte 99°14'28" de Longitud Oeste	1903 msnm	II-C-1	Semicálido A (C): Es el más fresco del grupo de los cálidos A con temperatura media anual entre 18 y 22 °C, con lluvias en verano	Andosol: Formados a partir de cenizas volcánicas y son ácidos.	Sierras
<b>Sitio 2.</b> <b>Ahuatepec</b> 18° 58'31" de Latitud Norte 99°12'50" de Longitud Oeste	1810 msnm	II-C-1	Semicálido A (C): Es el más fresco del grupo de los cálidos A con temperatura media anual entre 18 y 22 °C, con lluvias en verano	Andosol: Formados a partir de cenizas volcánicas y son ácidos	Sierras
Semifrío					
<b>Sitio 3.</b> <b>Tetela del Volcán</b> 18°53'54.3" de Latitud Norte 98°43'14.7 Longitud Oeste	2057 msnm	IV-C-5	C (W2) (b) Presenta una temperatura media anual entre 5 y 12°C y la del mes más frío entre -3 y 18 °C. Con verano fresco y largo. Temperatura del mes más caliente entre 56.5 y 22°C	Litosol: Suelos delgados (menos de 10 cm) pedregosos, de topografía accidentada.	Sierras

## IV.1.2 Manejo del cultivo

A continuación se describe el manejo que recibieron las 3 huertas estudiadas.

### Densidad de plantación

El número de árboles por ha dependió de la decisión de elegir huertos con altas, medias o bajas. El distanciamiento entre árboles en huertos con altas densidades se inicia con distancias de 4 a 5 m; en huertos con densidad media la distancia inicial será de 7 a 9 m y en huertos con bajas densidades la distancia puede ser de 10 a 12 m.

- Sitio. Chamilpa: En este sitio el trazo de la huerta fue de 5x5m, por lo que la densidad de plantación correspondió a 400 plantas por hectárea.
- Sitio dos. Ahuatepec: Esta huerta presentó la menor densidad de plantación con 109 plantas por hectáreas y con un trazo de 11x9m
- Sitio tres. Tetela del Volcán: Por último la densidad de esta huerta fue de 400 plantas por hectárea con un trazo de 5x5m.

### Deshierbes

Es importante mantener un control de las malezas ya que pueden representar un problema para las plantaciones de aguacate, por la competencia por nutrientes, agua, espacio y luz. Aumentan los costos, reducen los rendimientos y la calidad del fruto. Consiste en la eliminación de malezas ya sea de forma manual (con machete, azadón u otras herramientas) o con maquinaria (desbrozadora), eliminando la parte aérea de las malezas sin modificar físicamente la estructura del suelo.

- Sitio uno. Chamilpa: El productor de esta huerta realiza las actividades de deshierbe 3 veces por año de forma manual.
- Sitio dos. Ahuatepec: En este sitio el deshierbe se realiza únicamente dos veces por año, esto debido a que cuentan con un apiario por lo que es necesario la presencia de vegetación para el mantenimiento de las colmenas.
- Sitio tres. Tetela del Volcán: Este sitio es en donde se mantiene mayor control de las malezas ya que el deshierbe se realiza en 5 ocasiones por año.

### Riego

El agua es un recurso natural vital en la producción de frutales y cultivos anuales. En el caso del aguacate, se requiere tener el suelo con el agua disponible para la planta, sobre todo en las etapas de floración, amarre del fruto y desarrollo del mismo. Se tienen dos tipos de huertas de temporal y las que disponen de agua todo el año, denominadas de riego.

- Sitio 1. Chamilpa. Este sitio cuenta con un tanque de almacenamiento de agua así como con un sistema de riego por goteo, el cual se realiza cada 15 días.

- Sitio 2. Ahuatepec. Esta huerta no cuenta con sistema de riego por lo que depende la totalmente de precipitación de la temporada de lluvias.
- Sitio 3. Tetela del Volcán. Al igual que en el primer sitio, esta huerta cuenta con sistema de riego por goteo, sin embargo lo realizan una vez por semana. El agua es captada y almacenada en una olla de agua que se encuentra dentro del predio.

### Fertilización

La nutrición del aguacate y de los árboles frutales es de esencial importancia, ya que de ello dependen factores como resistencia a plagas, enfermedades, productividad y longevidad del árbol.

Sitio 1 y 3: Realizaron una fertilización órgano mineral, basada en resultados de análisis de suelos, las dosis de fertilización utilizadas fueron de 300 g de urea y 150 g de DAP (18-46). Así mismo, se agregaron 20 kg de composta por árbol.

Sitios 2: Fertiliza únicamente con composta (20 kg por árbol).

### Control integrado de plagas y enfermedades

Algunas de las plagas más comunes en el aguacatero son:

- Gusano barrenador de hueso (*Heilipus lauris Boheman*): La hembra deposita sus huevecillos bajo la epidermis del fruto en desarrollo, la larva se introduce en la pulpa hasta llegar al hueso. El daño principal lo ocasiona al alimentarse del hueso, provocando la baja calidad de éste y en ocasiones la caída prematura del fruto, lo que puede provocar la pérdida total en la producción
  - Control químico: Efectuaron aspersiones foliares con malatión y permetrina desde el inicio de la floración para eliminar adultos, hasta completar 5 ó 6. Entre 30 y 45 días de intervalo entre cada una de ellas.
  - Control cultural: Consiste en la recolección y destrucción de los frutos caídos, antes de que las larvas abandonen el fruto para romper con el ciclo biológico.
- Trips del aguacate: Existen varias especies entre ellas *Heliothrips haemorrhoidalis* . Ocasiona daños en frutos y flores, ocasionándoles malformaciones; inhibe la fecundación de flores al lesionar los órganos sexuales; origina la caída de las mismas y deteriora mucho a los frutos recién formados por la aparición de alteraciones irregulares en la epidermis (cáscara).
  - Control químico: Aplicaron tres a cuatro veces insecticidas como malatión y permetrina la primera cuando se tuvo un 10% de floración, otra en floración plena, una más casi al concluir ésta y la última, cuando los frutos tuvieron un tamaño denominado cabeza de cerillo a canica.

-Control cultural: Es necesario mantener las huertas limpias, libres de maleza, evitando la presencia de hospederos de la plaga, por lo que es recomendable efectuar los chaponeos o desvares que se requieran, esto hacerlo antes de realizar la aspersión.

- Araña de cristal (*Oligonychus*): Esta plaga se presenta en época de estiaje (seca), los adultos succionan los jugos de las hojas, produciendo manchas amarillentas en las mismas. En casos severos, los árboles se debilitan y tiran completamente sus hojas.

-Control químico: La plaga se controla con tres o cuatro aplicaciones de azufre líquido o citrolina emulsificada.

Las principales enfermedades del aguacate se mencionan a continuación:

- Antracnosis: Enfermedad causada por *Colletotrichum Gloeosporioides*. Penetra en las lesiones ocasionadas por otros hongos, se desarrolla antes de la cosecha y se manifiesta en postcosecha, atacando a los frutos cuando casi están para cosechar. Inicialmente se manifiesta con manchas redondas color marrón, paralelamente, el hongo produce una pudrición en la pulpa de fruto, que ocasiona un sabor desagradable y avanza hasta colonizar el hueso.

-Control químico: Se sugiere hacer tres aplicaciones: la primera durante la floración; la segunda, al término de ésta; y la tercera, 40 días después de la segunda, utilizando fungicidas como Hidróxido de calcio micronizado, Ferbam, Cuprasol entre otros.

-Control cultural: Realizar podas de ramas secas e improductivas, así como aclareo de árboles en las huertas en las que las ramas de los árboles se han entrecruzado, para no propiciar las condiciones adecuadas de humedad que permitan el desarrollo de la enfermedad

- Roña: El hongo *Sphaceloma perseae* afecta a las hojas, principalmente las nuevas, y daña a los frutos, deteriorando su calidad estética. En el fruto son lesiones irregulares color marrón de apariencia corchosa, estas lesiones no son superficiales y no afectan la pulpa. En ataques severos, los brotes y las hojas se necrosan, se enroscan hacia arriba y pueden llegar a morir (SAGARPA, 2011).

-Control químico: Iniciar aplicaciones con Manzate 200 PH, Difolatan PH o hidróxido de calcio micronizado desde antes de la floración y durante la maduración del fruto.

-Control cultural: Tener la huerta con suficiente aeración, manteniendo los árboles a buena distancia de la plantación, juntar las ramas secas y quemarlas y mantener las huertas libres de maleza.

Para el control de plagas que afectan el cultivo de aguacate los productores aplican productos como Malatión y permetrina con la finalidad de no crear resistencia. Mientras que para las enfermedades aplican productos a base de cobre como Cupravit.

Tabla 6. Características de las estaciones meteorológicas seleccionadas

ESTACIÓN	17046	17004
<b>Nombre</b>	HUEYAPAN E-4	CUERNAVACA (DGE)
<b>Estado</b>	Morelos	Morelos
<b>Municipio</b>	Tetela del Volcán	Cuernavaca
<b>Latitud</b>	18.8850	18.9186
<b>Longitud</b>	-98.6903	-99.2342
<b>Altura (msnm)</b>	2,285	1510
<b>Situación</b>	Operando	Operando
<b>Datos desde</b>	1 de enero de 1976	1 de abril de 1955
<b>Hasta</b>	31 de diciembre 2016	31 de diciembre 2016

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por CONAGUA.

La Huerta uno y dos realizan aplicaciones dos veces al año mientras que la Huerta tres lo hace 4 veces por año.

#### IV.1.3 Obtención de registros históricos y actuales

A partir de la consulta realizada a la CONAGUA, se obtuvieron bases de datos con los registros históricos de las variables climáticas de los sitios de estudio para los periodos seleccionados. La información obtenida permitió identificar que no hay datos disponibles de humedad relativa debido a que las estaciones climatológicas no realizan la medición de ese parámetro.

Para el municipio de Tetela del Volcán únicamente existen 2 estaciones, mientras que en el municipio de Cuernavaca se localizan 9. Para ambos municipio se seleccionaron las estaciones más cercanas al sitio de estudio las cuales se presentan en la Tabla 7.

Cabe mencionar que el análisis de la información contenida en las estaciones meteorológicas seleccionadas es con la finalidad de probar o descartar alteraciones de las variables climáticas como consecuencia del cambio climático a nivel local.

Con dichos registros se elaboró la base de datos, la cual integra los datos de los periodos de 5 años antes mencionados para ser sujetos al análisis estadístico posterior. Durante el vaciado de los datos al programa Excel se identificaron



algunas anomalías, es decir hay registros faltantes para algunos de meses de los años a analizar.

#### IV.1.4. Análisis de los registros históricos

##### IV.1.4.1 Climogramas

A partir de los datos promedio mensuales de temperatura (máxima y mínima) y precipitación de los periodos seleccionados se construyeron los climogramas de Cuernavaca y Tetela del Volcán. De acuerdo a la literatura se recomienda utilizar un promedio de 30 años para hablar del clima de una localidad o de periodos menores cuando se desean estudiar tendencias de cambio, al menos cinco años, que es lo que se realizó en el presente estudio.

Con la representación gráfica de las variables estudiadas se puede identificar los meses de la estación seca, que corresponden a los meses en los que su acumulación se encuentra por debajo de la línea de temperatura media, y por lo tanto los meses que superan dicha línea son los meses de la época húmeda o de lluvias.

De esta forma se identifica que los meses de la época húmeda en Cuernavaca son de mayo a Noviembre (Gráfico 6) y para el municipio de Tetela del Volcán es de mayo a octubre (Gráfico 7).

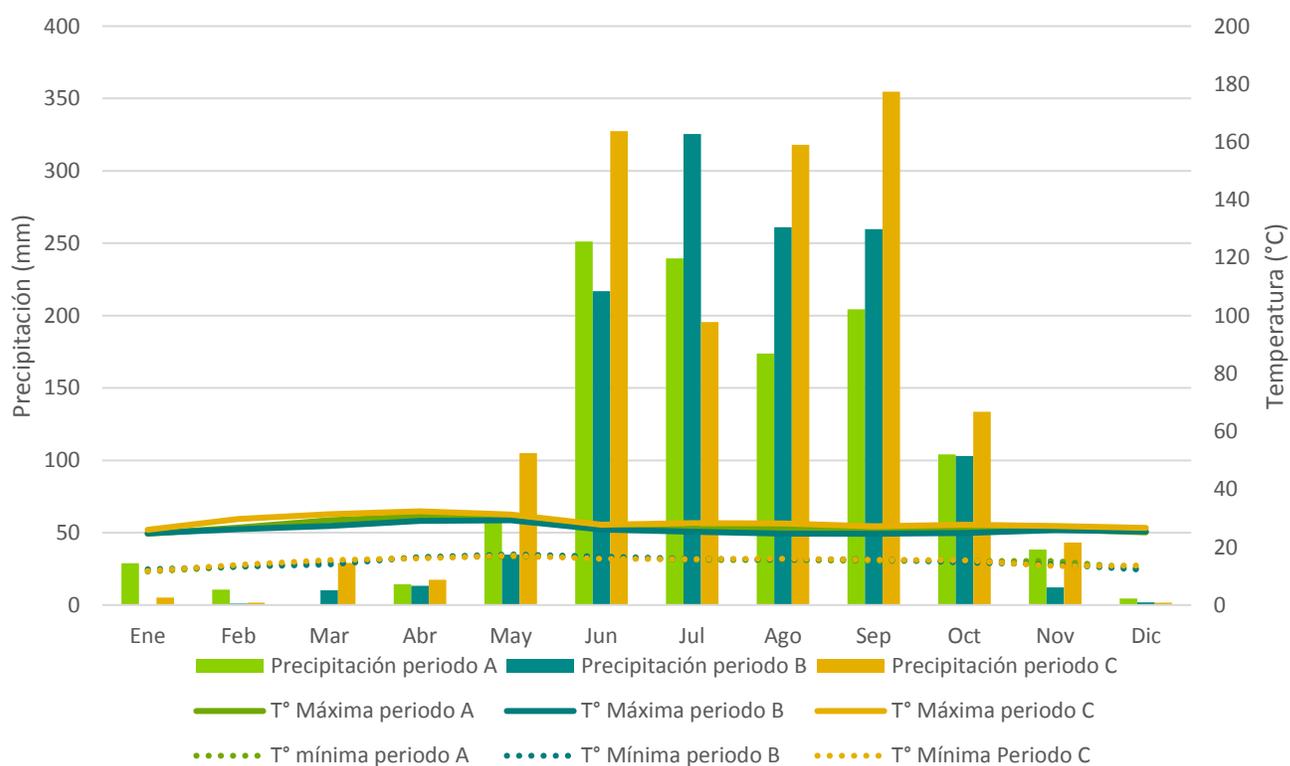


Gráfico 6. Climograma de los tres periodos del municipio de Cuernavaca.

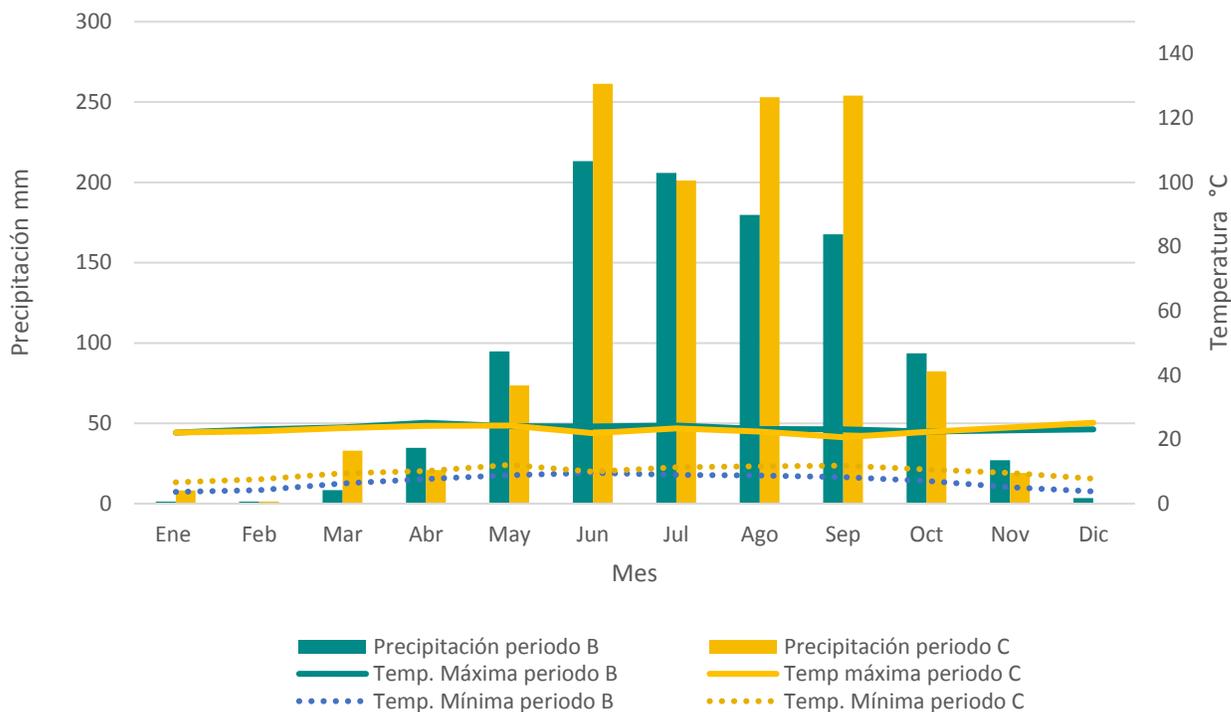


Gráfico 7. Climograma de los dos periodos del municipio de Tetela del Volcán.

Por otra parte también se observa que la precipitación en ambos sitios ha presentado variaciones en los distintos periodos, los cuales se analizará n con mayor detalle posteriormente.

#### IV.1.4.2 Temperaturas máximas y mínimas

A partir de los registros diarios de temperaturas, se analizaron en cada municipio el comportamiento de los promedios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas en los periodos establecidos y de esta forma identificar la presencia o no de modificaciones en este elemento del clima.

En la tabla 8 se presenta el resumen del análisis estadístico realizado por año y por localidad, en la cual se puede observar que se hallaron diferencias significativas, sin embargo también hubo años que la temperatura no presentan diferencias estadísticas.

Tabla 7. Promedio de las temperaturas máximas y mínimas de las dos localidades de estudio.

Año	Cuernavaca		Tetela del Volcán	
	T° max (°C)	T° min (°C)	T° max (°C)	T° min (°C)
1956	26.46 <sup>ef</sup>	13.67 <sup>b</sup>	-	-
1957	27.80 <sup>cd</sup>	14.89 <sup>a</sup>	-	-

<b>1958</b>	26.70 <sup>e</sup>	14.90 <sup>a</sup>	-	-
<b>1959</b>	26.78 <sup>e</sup>	15.08 <sup>a</sup>	-	-
<b>1960</b>	27.52 <sup>d</sup>	15.34 <sup>a</sup>	-	-
<b>1986</b>	25.76 <sup>g</sup>	15.01 <sup>a</sup>	22.77 <sup>cd</sup>	6.21 <sup>de</sup>
<b>1987</b>	26.14 <sup>efg</sup>	15.01 <sup>a</sup>	23.07 <sup>c</sup>	5.94 <sup>de</sup>
<b>1988</b>	26.23 <sup>efg</sup>	15.21 <sup>a</sup>	24.29 <sup>b</sup>	5.75 <sup>e</sup>
<b>1989</b>	26.02 <sup>fg</sup>	14.88 <sup>a</sup>	26.07 <sup>a</sup>	6.39 <sup>d</sup>
<b>1990</b>	26.48 <sup>ef</sup>	15.07 <sup>a</sup>	22.80 <sup>cd</sup>	10.11 <sup>bc</sup>
<b>2016</b>	28.38 <sup>bc</sup>	15.05 <sup>a</sup>	21.69 <sup>d</sup>	10.90 <sup>a</sup>
<b>2017</b>	28.26 <sup>bc</sup>	14.73 <sup>a</sup>	24.49 <sup>b</sup>	10.43 <sup>ab</sup>
<b>2018</b>	28.63 <sup>b</sup>	15.31 <sup>a</sup>	24.47 <sup>b</sup>	10.53 <sup>ab</sup>
<b>2019</b>	29.36 <sup>a</sup>	15.07 <sup>a</sup>	22.95 <sup>cd</sup>	9.78 <sup>c</sup>

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05)

#### IV.1.4.2.1 Temperatura máxima

En Cuernavaca las temperaturas mensuales máximas promedio presentan un comportamiento similar en los tres periodos, es decir que las temperaturas más altas se registran en los meses de abril y mayo las cuales fueron de 30.6 °C para el período A, de 29.2 °C en el período B y por último de 32.39 °C. No obstante, es posible observar que las temperaturas del periodo más reciente de registros se encuentran por encima de los otros dos, lo que puede indicar que en estos últimos años se han registrado temperaturas ligeramente más altas que en 1956-1960 y en 1986-1990 (Gráfico 8).

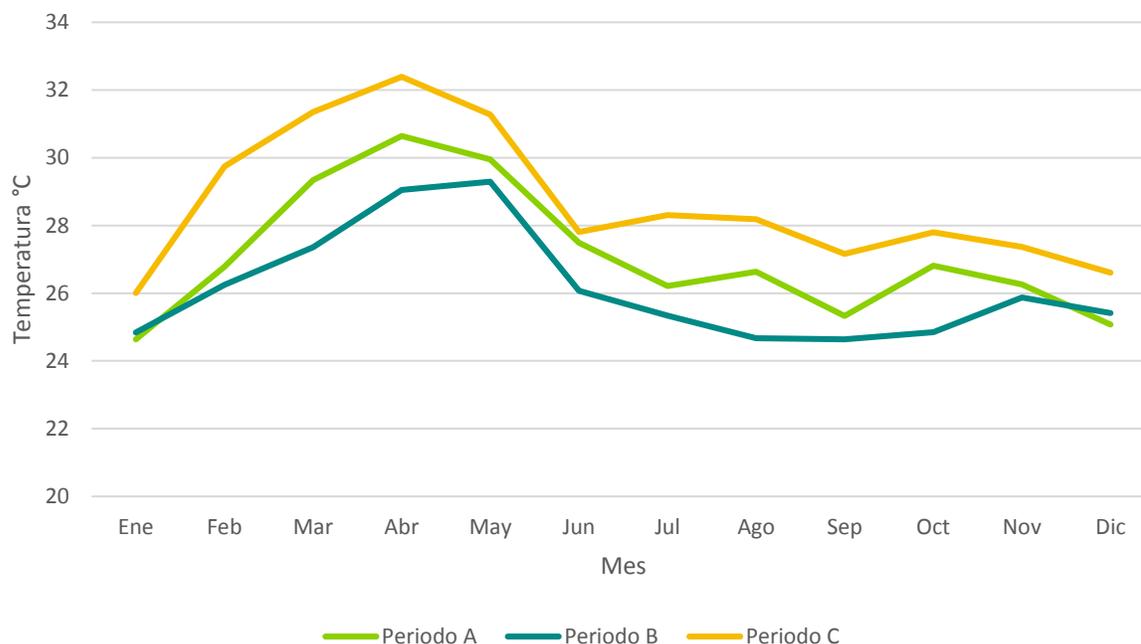


Gráfico 8. Temperatura máxima promedio mensual de los tres periodos de estudio en Cuernavaca.

Respecto a los índices calculados con RCLimdex, el análisis del índice Tx90p, que se refiere al porcentaje de días con temperaturas máximas por encima del 90 percentil, en el periodo de 1957 a 2018, se puede identificar la tendencia de aumento de la temperatura con el transcurso

de los años (Gráfico 9.a). Así mismo el índice WSDI que representa el número de veces en el año en que la temperatura sobrepasa el 90 percentil al menos seis días consecutivos, muestra una tendencia positiva, es decir al incremento del porcentaje de este índice, alcanzando valores entre el 30% y 40% en los últimos años (Gráfico 9.b).

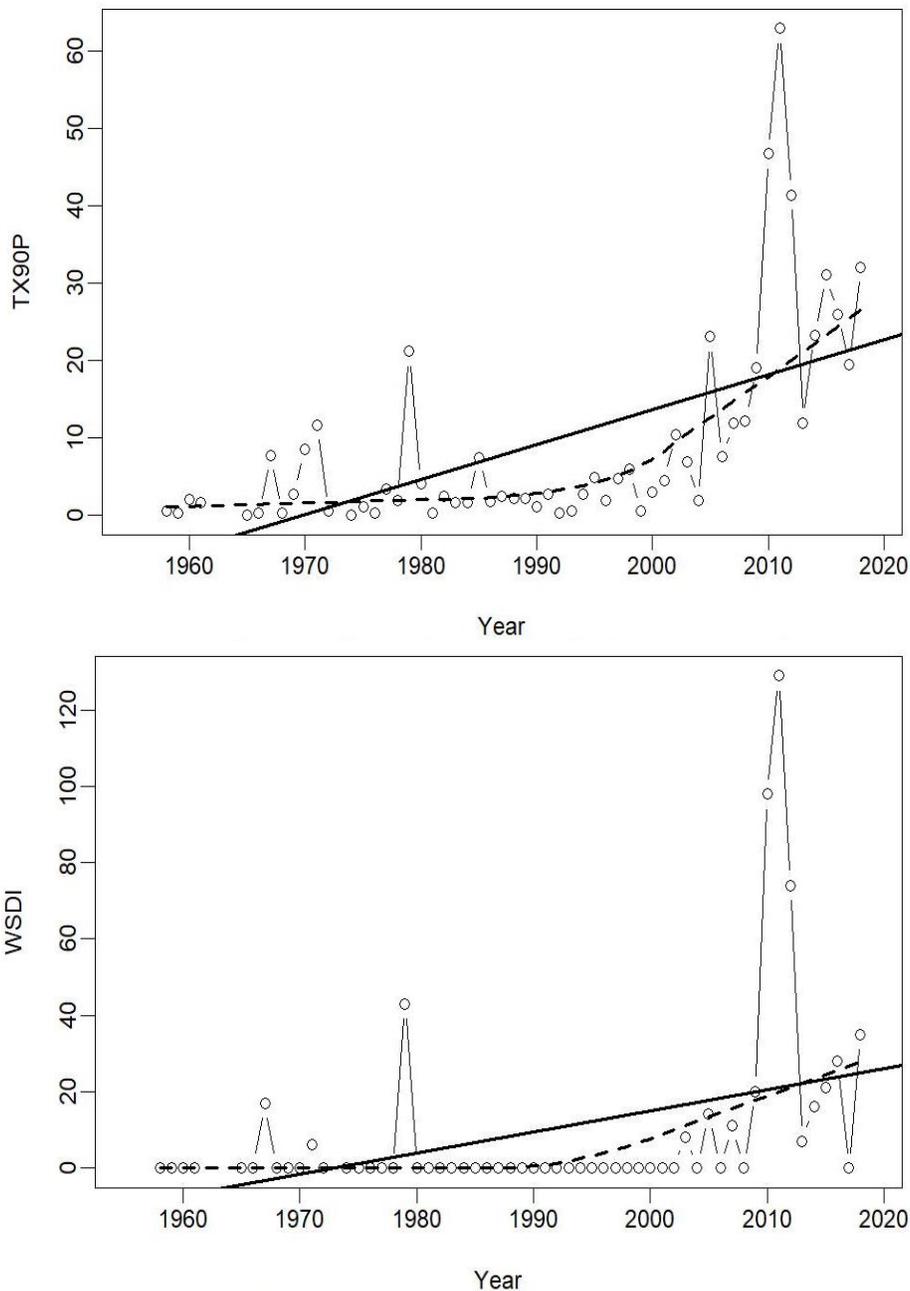


Gráfico 9.a Tendencia del porcentaje de días al año con temperaturas máximas por encima del 90 percentil en Cuernavaca (Tx90p). Gráfico 9.b Tendencia del conteo anual de veces con por lo menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima es mayor al percentil

En Tetela del Volcán el registro de las temperaturas más altas se presentaron en el mes de abril para el periodo B 25.1°C, mientras que para el periodo C fue en el mes de marzo con 27.4 °C.

El gráfico 10 muestra que en el periodo B se registraron temperaturas más altas en los meses de febrero a mayo a comparación del A. En los meses restantes, es decir, de junio a noviembre las temperaturas máximas del periodo B fueron ligeramente más bajas en dicho periodo en relación con las del primero.

Se pueden observar las fluctuaciones de las temperaturas máximas promedio de cada uno de los periodos. Para el A, el comportamiento de este elemento del clima fue más estable, es decir que la diferencia entre temperatura máxima promedio del mes más cálido respecto al menos cálido fue de aproximadamente 3° C, mientras que en el periodo actual, dicha diferencia fue de 6°C. Se presenta una mayor variación en la temperatura máxima en el periodo actual.

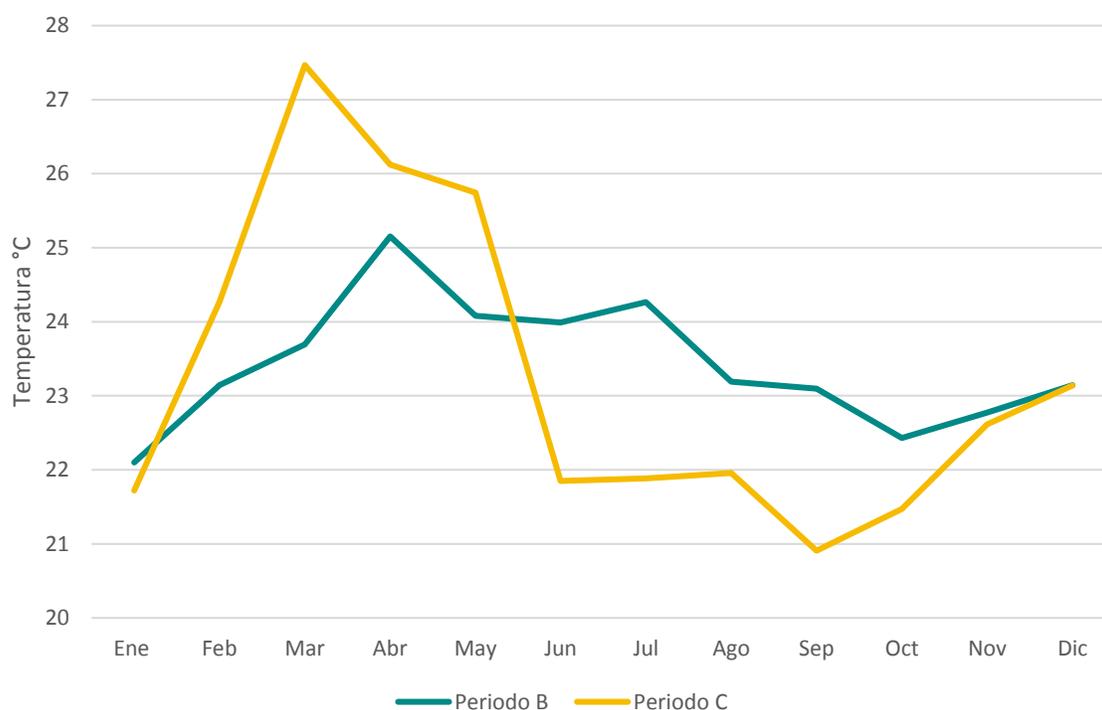


Gráfico 10. Temperatura máxima promedio mensual de los dos periodos de estudio en Tetela del Volcán.

Al realizar el cálculo de días cálidos a través del índice Tx90p, para Tetela del Volcán no se observa una tendencia clara al aumento al porcentaje de días cálidos en esta estación en particular (gráfico 11.a). Hay algunos años como el 2002 o el 2005 en donde el porcentaje alcanza valores por encima del 40% de días cálidos, sin embargo no se detecta un comportamiento constante de incremento a diferencia de Cuernavaca (gráfico 11.b).

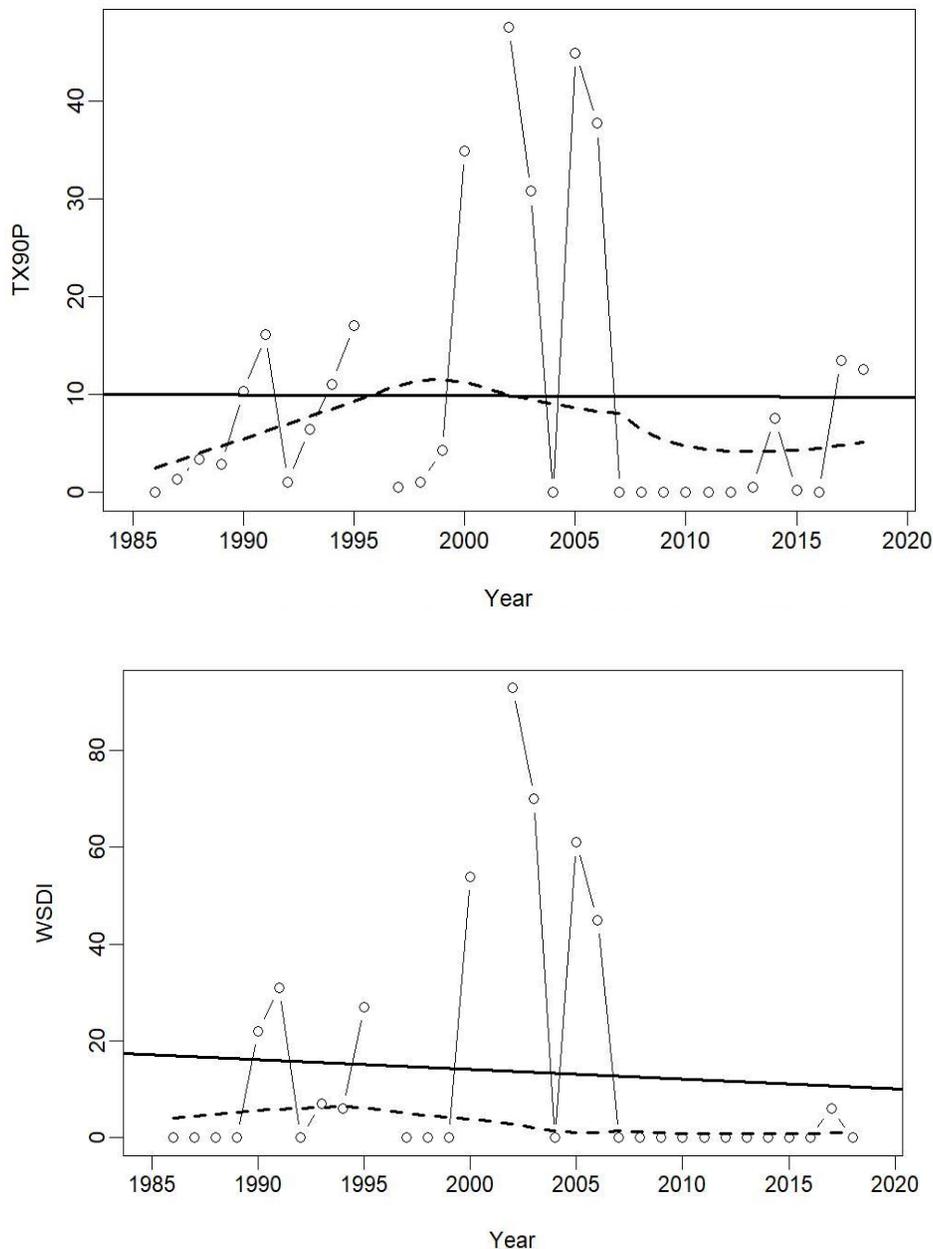


Gráfico 11.a Tendencia del porcentaje de días al año con temperaturas máximas por encima del 90 percentil en Tetela del Volcán 1986-2018. 11.b Tendencia del conteo anual de veces con por lo menos 6 días consecutivos en que la temperatura máxima es mayor al percentil

Estos resultados concuerdan con lo obtenido en el análisis estadístico por periodo, realizado mediante la prueba de LSD, en donde Cuernavaca presentó diferencias significativas entre los periodos B y C, con  $26.13^{\circ}\text{C}$  y  $28.68^{\circ}\text{C}$  respectivamente, siendo el C estadísticamente más caliente. Por su parte se identificó que Tetela del Volcán no registró diferencias significativas entre los periodos de análisis como se muestra en el gráfico 12.

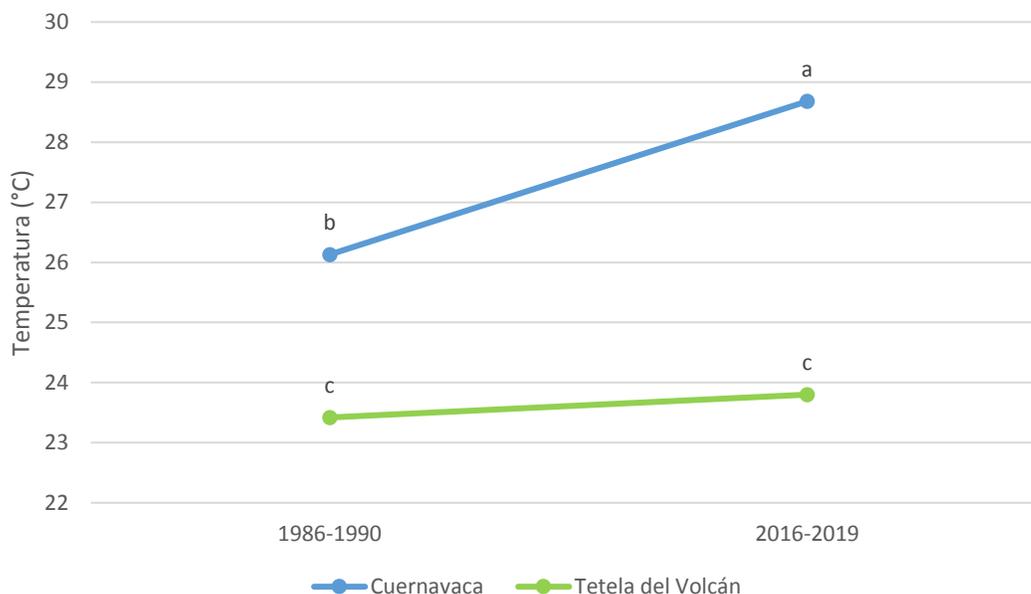


Gráfico 12. Temperatura máxima por periodo en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05)

#### IV.1.4.2.2 Temperatura mínima

Respecto a las temperaturas mínimas de Cuernavaca, en los tres periodos la más baja se registró en el mes de Enero siendo de 11.56 °C, 12.35 °C y 11.79 °C para el periodo A, B y C respectivamente. A diferencia del gráfico de temperaturas máximas, en éste no se distingue una tendencia clara de cambio entre periodos de tiempo, únicamente que las temperaturas mínimas de los meses de noviembre y Diciembre del C aumentaron (gráfico 13).

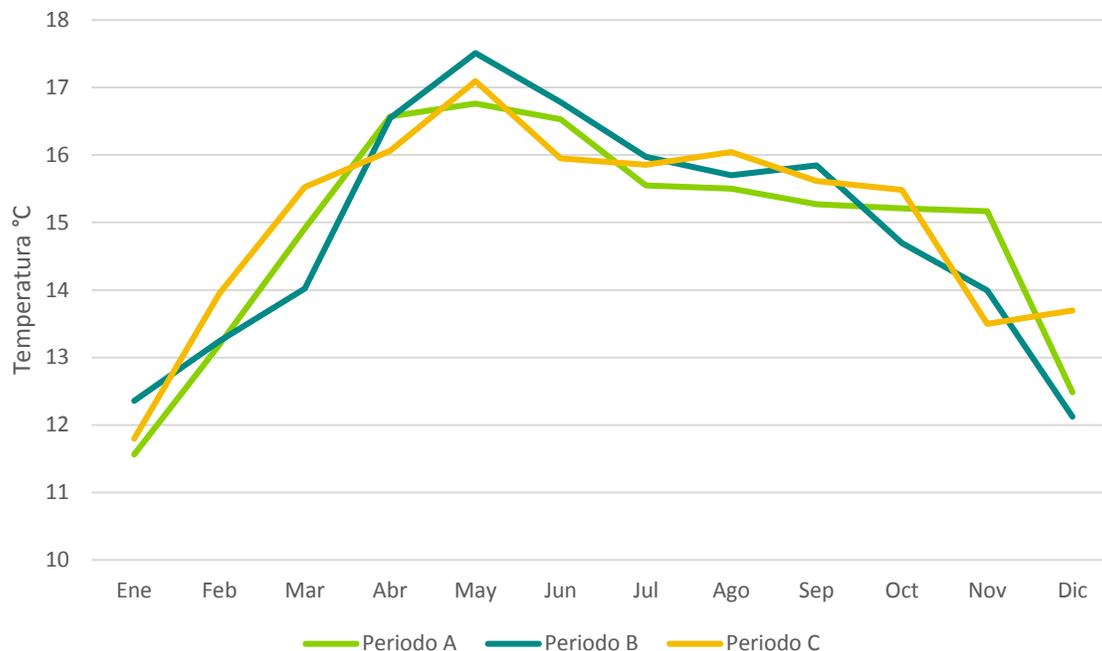


Gráfico 13. Temperatura mínima promedio mensual de los tres periodos de estudio en Cuernavaca.

Para el caso de las temperaturas mínimas promedio mensuales de Tetela del Volcán (Gráfico 14), no ocurre el mismo patrón que para las máximas, en ambos periodos coincide que la más baja se presentó en el mes de enero con 3.6 °C y 6.6°C para el periodo B y C respectivamente.

Se observa la presencia de temperaturas mínimas más elevadas en el periodo de 2015 - 2019 en contraste con las de 1986 -1990. La diferencia que se presenta entre los dos periodos en la mayoría de los meses del año es en promedio de 3°C, en algunos casos supera los 4°C como en noviembre y diciembre. Únicamente en el mes de junio la diferencia es de 0.4 °C. Lo anterior muestra que en los últimos cinco años las temperaturas mínimas se han elevado en este municipio.

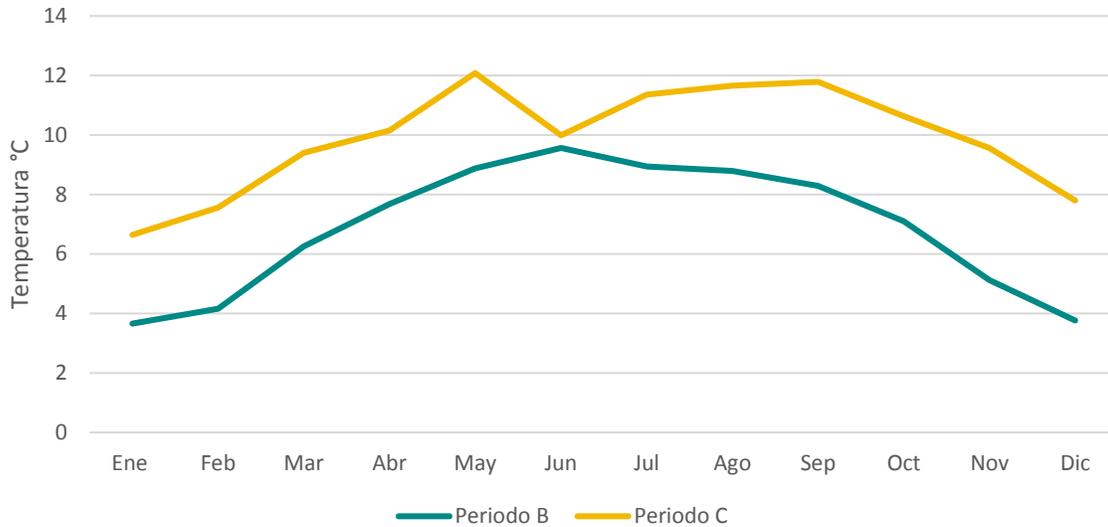


Gráfico 14. Temperatura mínima promedio mensual de los dos periodos de estudio en Tetela del Volcán.

El gráfico 15 muestra el comportamiento de la temperatura mínima en ambas localidades anualmente. Se observa que esta variable para el municipio de Cuernavaca no presentó diferencias significativas en todos los años a excepción de 1956 que sí registró temperaturas más bajas que el resto de los años. Al realizar el análisis por periodo, tampoco hubo una diferencia significativa.

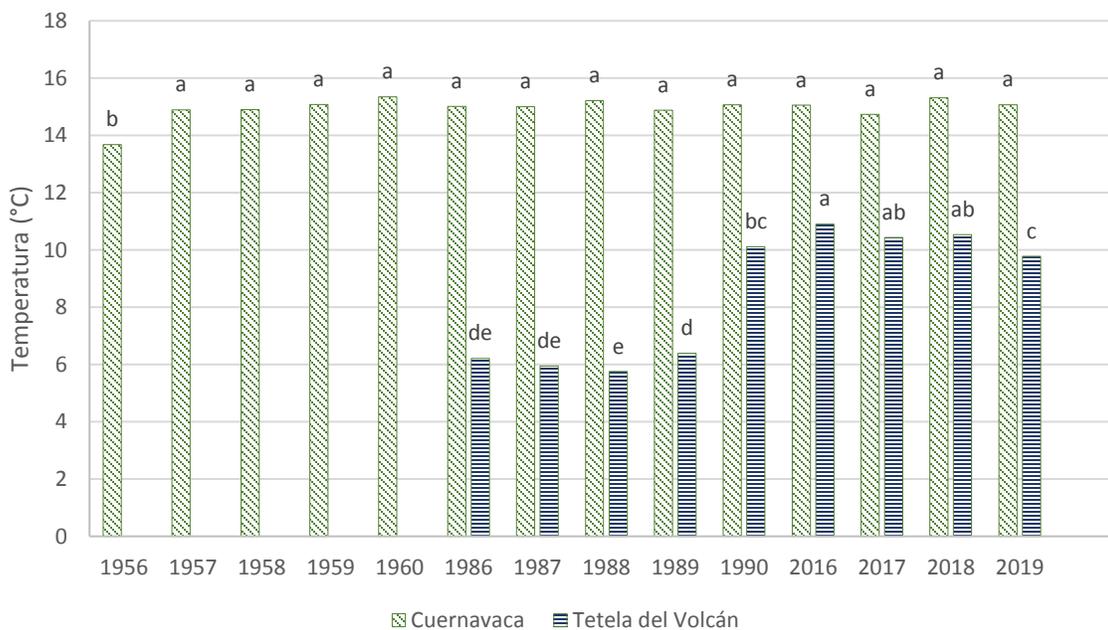


Gráfico 15. Temperatura mínima promedio por año en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05).

En cuanto a Tetela del Volcán sí hubo diferencias significativas entre los años de estudio, y destaca que las temperaturas mínimas de los años del periodo C se elevaron considerablemente respecto a las del periodo B. Lo anterior se demuestra en el resultado que arrojó el análisis estadístico por periodo, en donde se detectó una diferencia significativa en las medias entre periodos, las cuales fueron de 6.88 °C y 10.41 °C para el periodo B y C respectivamente, lo que representa una diferencia de 3.45 °C.

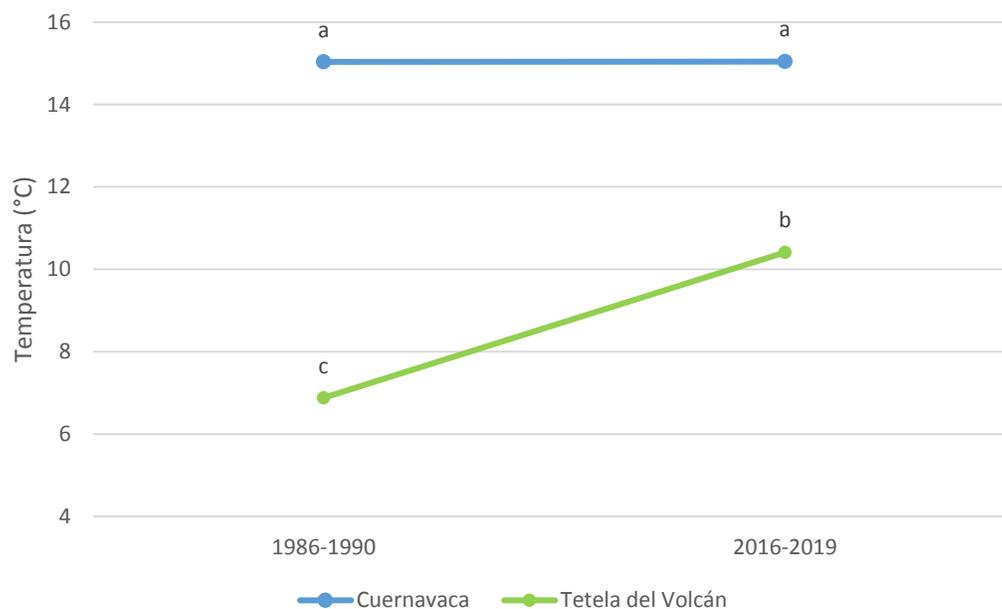


Gráfico 16. Temperatura mínima promedio por periodo en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05)

#### IV.1.4.2.3 Precipitación

La comparación de la acumulación de la cantidad de precipitación pluvial que se ha presentado en los dos municipios, permite identificar como primer punto que el municipio de Cuernavaca presenta un mayor volumen de lluvia que en Tetela del Volcán (Tabla 9).

Tabla 8. Precipitación por año en los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán

Periodo	Año	Cuernavaca		Tetela del Volcán	
		Acumulado	Media	Acumulado	Media
A	1956	994.2	21.17 <sup>bc</sup>	-	-
	1957	591.8	17.27 <sup>c</sup>	-	-
	1958	1813.5	37.59 <sup>a</sup>	-	-
	1959	1027.3	21.40 <sup>bc</sup>	-	-
	1960	1037.9	21.62 <sup>bc</sup>	-	-
B	1986	1263.8	27.26 <sup>abc</sup>	1006.4	20.30 <sup>a</sup>
	1987	1291.7	26.91 <sup>abc</sup>	812.8	16.93 <sup>a</sup>
	1988	1084.3	22.42 <sup>bc</sup>	1188.9	24.73 <sup>a</sup>
	1989	1062.6	22.14 <sup>bc</sup>	895.9	18.66 <sup>a</sup>
	1990	1496.1	31.17 <sup>abc</sup>	1250.5	25.51 <sup>a</sup>
C	2015	1330.2	34.74 <sup>a</sup>	1133.8	25.13 <sup>a</sup>
	2016	1751.7	29.15 <sup>abc</sup>	1366.2	25.44 <sup>a</sup>
	2017	1410.8	35.78 <sup>a</sup>	1221.2	25.52 <sup>a</sup>
	2018	1717.5	30.65 <sup>ab</sup>	1221.2	22.82 <sup>a</sup>
	2019	1407.53	27.26 <sup>abc</sup>	1096.14	20.30 <sup>a</sup>

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05)

Se observa que la acumulación de precipitación en Cuernavaca para el año 1957 fue muy inferior con respecto al resto del primer periodo de cinco años (591.8 mm); cabe mencionar que para ese año la CONAGUA no reporta registros en el mes de septiembre, lo cual impacta en el resultado de acumulación de precipitación obtenida. Sin embargo, aun con los datos de ese mes faltante el resultado es muy bajo, lo que a su vez se refleja en la desviación estándar para el periodo de 1956 a 1960 que fue de 443.6, es decir muy elevada.

Esta disminución en la precipitación para ese año puede estar relacionada con la presencia del ENSO, ya que durante el decenio de 1950 se registraron cinco importantes eventos del ENSO, tres eventos El Niño (1951-1952, 1953, 1957-1958) y dos eventos La Niña (1950-1951, 1954-1956) (Trenberth, 1997 y Magaña *et al.*, 1999). Según lo reportado, en 1957, la sequía se agudizó y se extendió al centro de México (Cerano-Paredes, Villanueva-Díaz, Arreola-Ávila, & Constante-García, 2011).

En contraste, se observa que la precipitación de 1958 es la más alta de todos los años estudiados con 1853.5 mm anuales y una media de 37.59 mm. De acuerdo a lo que se tiene registro, en ese año terminó la década seca y, por el contrario, hubo lluvias intensas (Dominguez, 2016).

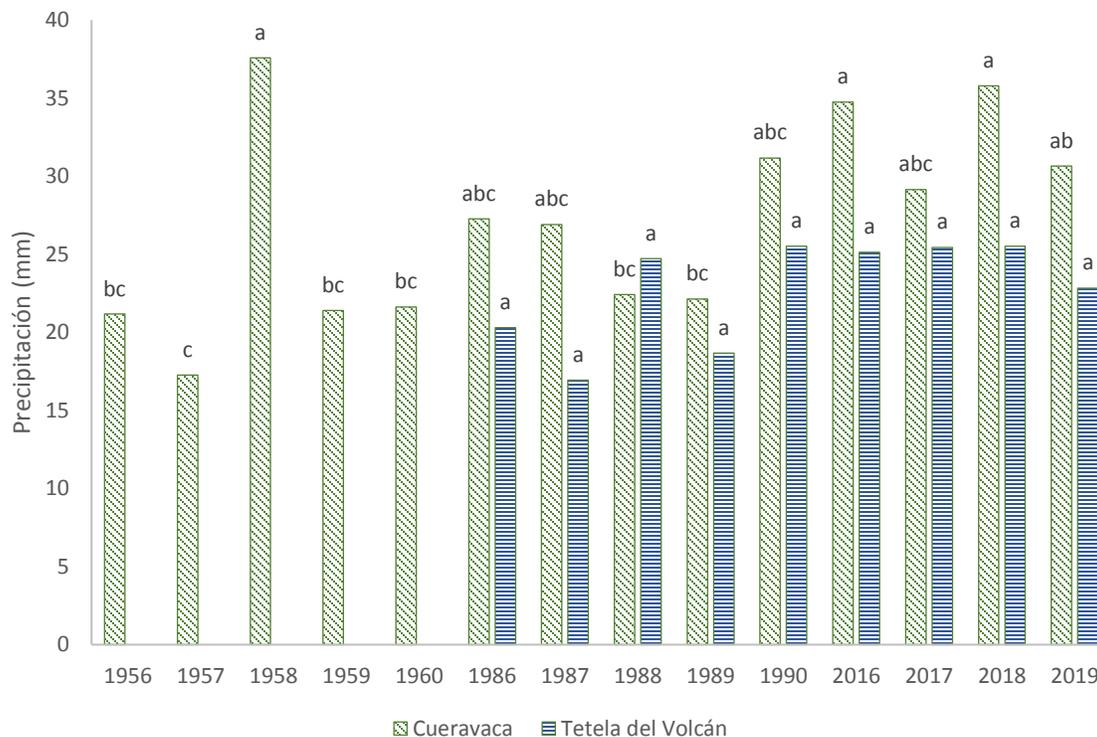


Gráfico 17. Comportamiento de la precipitación pluvial en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán por año. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (por localidad) de acuerdo con la prueba de LSD (0.05)

Un punto a considerar es que para el año 2019 solo se sumaron las precipitaciones acumuladas los meses de los que se tiene registro, es decir al mes de Octubre.

De forma general, se han presentado aumentos en la cantidad de precipitación total en ambos sitios a medida que los periodos son más recientes. En el gráfico 17 se observa el comportamiento anual de la precipitación en cada una de las localidades, en las cuales a través del análisis estadístico se hallaron diferencias significativas entre los años de estudio en el municipio de Cuernavaca, siendo los años 1958, 2016 y 2018 los que obtuvieron los valores más altos.

En el caso de Tetela del Volcán a pesar de reportar variaciones en la precipitación acumulada anual, estadísticamente no representa una diferencia significativa por año, como puede apreciarse en el gráfico 17.

Respecto al análisis por periodos, en Cuernavaca para el A el promedio de precipitación fue de 23.80 mm, en el B de 25.98 mm y por último en el periodo C que corresponde a los últimos cinco años, el promedio fue de 33.65 mm, lo que en el promedio de la precipitación acumulada representa una diferencia superior a los 500 mm entre el periodo A y el C. En el caso de Tetela del Volcán, los años de 1986 a 1990 promediaron un volumen de 21.23 mm y para el 2015 al 2019 de 25.70.

A pesar que las medias de la precipitación en el análisis anual no muestran diferencias significativas para Tetela del Volcán, en la comparación por periodo sí resultó significativo el aumento de la lluvia en ambas localidades como se observa en el gráfico 18 obtenido con la prueba LSD de Fisher.

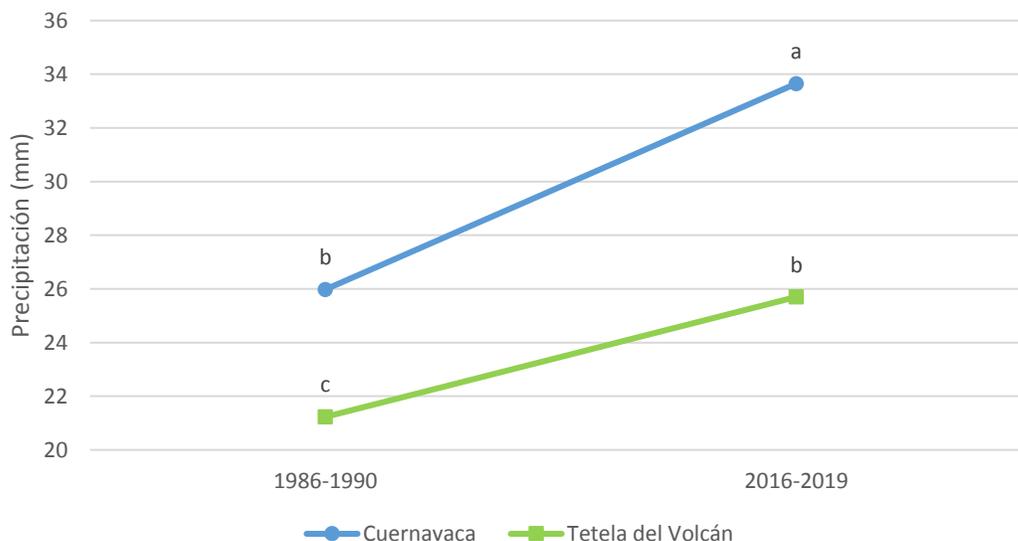
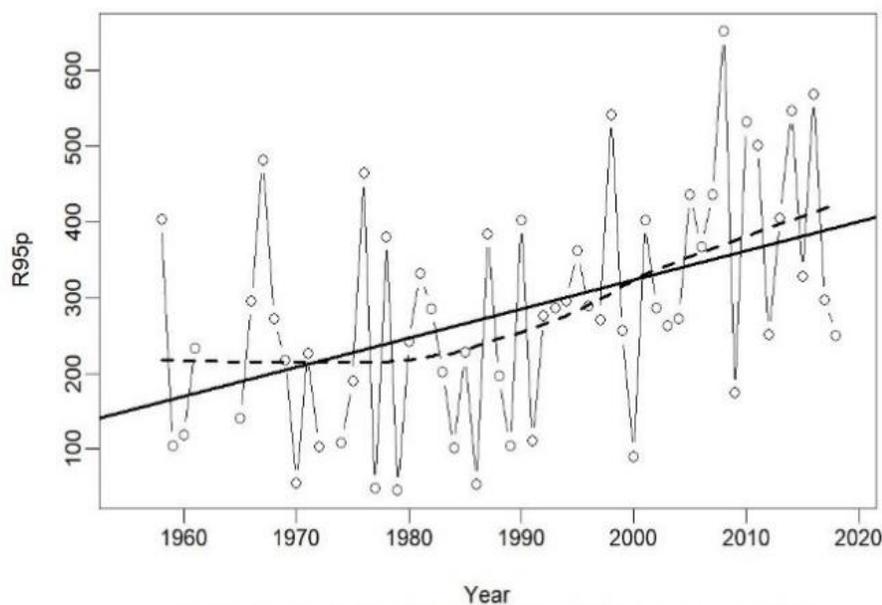


Gráfico 18. Comportamiento de la precipitación pluvial en las localidades de Cuernavaca y Tetela del Volcán por periodo. Medias con la misma letra son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de LSD (0.05)



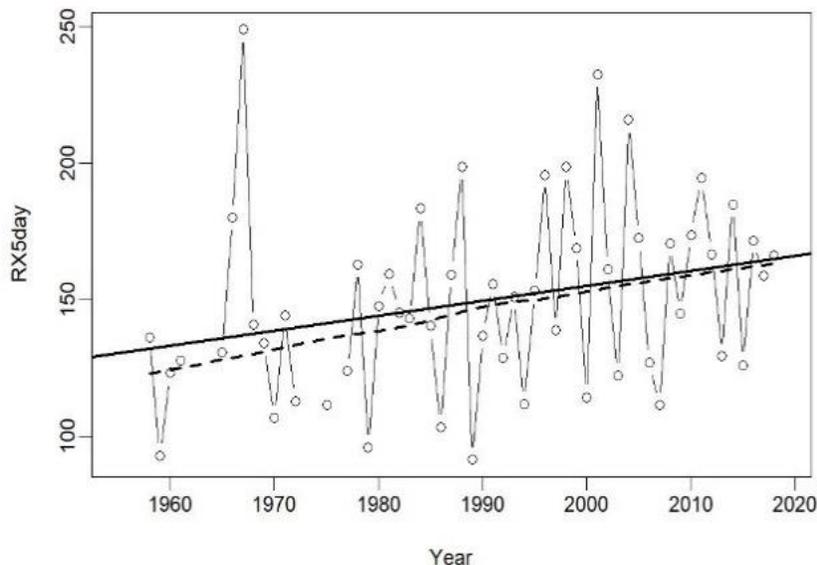


Gráfico 19..a Tendencia del número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm). 19.b Tendencia del máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos en Cuernavaca 1957-2018

Además de que actualmente llueve más, es importante considerar los periodos en los que se están registrando esas lluvias, que como se observa en el climograma de ambos municipios, éstas han aumentado en los meses de agosto, septiembre y octubre. Para el caso de Cuernavaca, el mes más lluvioso en el primero periodo era junio, en contraste con el periodo actual que registra el mes con más precipitación en septiembre. En Tetela del Volcán se observa que en ambos periodos el mes con mayor volumen de precipitación fue en Junio, sin embargo, destaca que en el periodo de 1986 a 1990, a partir de ese mes la precipitación iba en descenso, a diferencia de lo que se registra actualmente, que en los meses de agosto y septiembre la cantidad de lluvia es muy similar a la del mes más lluvioso.

El cálculo del índice de número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 para los días húmedos a través de RClindex muestra para Cuernavaca que hay una clara tendencia al aumento en la cantidad de días húmedos en Cuernavaca. El resultado del índice Rx5day indica un incremento en las precipitaciones extremas que se presentan durante cinco días consecutivos.

En el caso de Tetela del Volcán los resultados son similares en el sentido que ambos índices de precipitación, arrojan resultados que muestran tendencia positiva al aumento de la cantidad de días húmedos así como de la cantidad máxima anual de precipitación en cinco días seguidos.

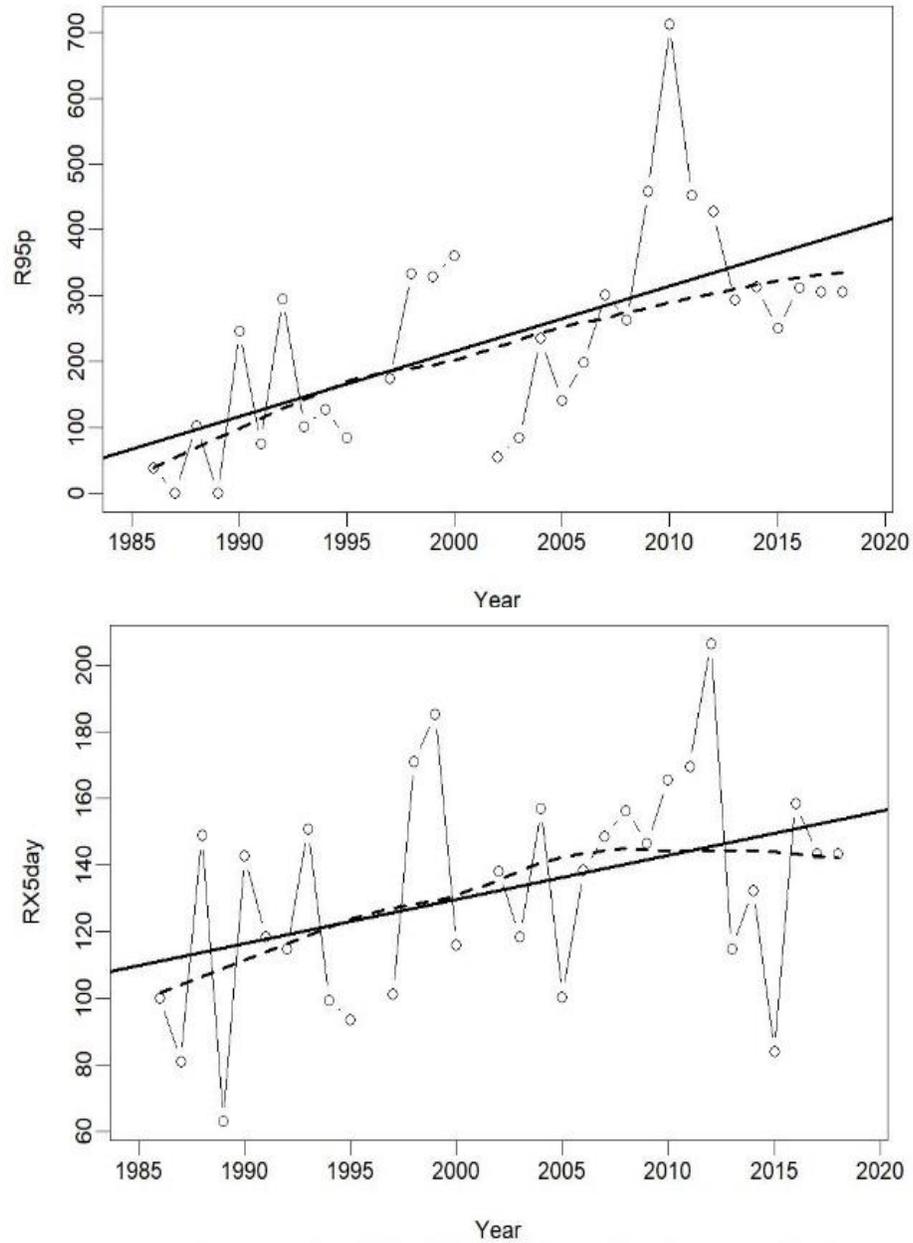


Gráfico 20. a) Tendencia del número de días en un año con lluvia mayor al percentil 95 para los días húmedos (Prec. > 1,0mm). b) Tendencia del máximo anual de precipitación en 5 días consecutivos en Tetela del Volcán 1986-2018.

## Índice Modificado de Fournier (IMF).

Se realizaron los cálculos del índice Modificado de Fournier para la precipitación de ambas localidades, Cuernavaca y Tetela del Volcán con los registros históricos, los resultados se observan en la Tabla 11. Para la estación meteorológica de Cuernavaca, en los periodos evaluados, los valores del IMF oscilaron entre 153 y 354. De la totalidad de los datos anuales, solo el año 1957, presentó un valor en la categoría “alto” (153.3); el resto de los años analizados presentaron valores correspondientes a la clasificación “muy alto” ya que superan las 160 unidades. Estos valores indican que los suelos pueden verse afectados por una fuerte agresividad climática con la lluvia como agente erosivo.

Los valores más bajos se presentan en el periodo de 1956 - 1960, mientras que los valores más altos, superiores a 300, se encuentran en el periodo de precipitaciones de los últimos cinco años.

En el caso de Tetela del Volcán los resultados del IMF arrojan valores entre 153 y 258.7. La mayoría de los años en los dos periodos presentan valores mayores a 160, lo que los clasifica como “Muy alto” y únicamente 1986 y 1989 se encuentran en la categoría de “Alto”. A diferencia de Cuernavaca, ambos valores, es decir el menor y el mayor, fueron registrados en el mismo periodo, que corresponden al año 1989 y 1988 respectivamente.

Todos los años del periodo de 1986 - 1990 no superan los 200 a excepción del año 1988, mientras que en el periodo de años recientes, únicamente el 2015 está por debajo de 200. Esto da un indicio de un aumento en la erosividad de las lluvias en este sitio en los últimos años.

Un aspecto que resalta al realizar la comparación entre las dos estaciones meteorológicas estudiadas, es que Cuernavaca presenta valores más altos que los de Tetela del Volcán, lo que indica que la precipitación en este municipio tiene un mayor efecto en la erosión de los suelos.

Resultados similares fueron hallados por Lince y Castro (2015) quienes reportan valores promedio del IMF entre 218 y 314 al analizar la erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. Castelán *et. al* (2014) en el estudio que realizaron en la subcuenca del río San Maros en Puebla, México también obtuvieron valores muy elevados, incluso superiores a 400.

Tabla 9. Resultados del IMF de Cuernavaca y Tetela del Volcán.

Año	Cuernavaca		Tetela del Volcán	
	IMF	Clasificación	IMF	Clasificación
<b>1956</b>	184.022	Muy alto	-	-
<b>1957</b>	153.326	Alto	-	-
<b>1958</b>	270.857772	Muy alto	-	-
<b>1959</b>	191.096262	Muy alto	-	-
<b>1960</b>	211.493275	Muy alto	-	-

<b>1986</b>	292.596028	Muy alto	158.030862	Alto
<b>1987</b>	286.91152	Muy alto	187.536836	Muy alto
<b>1988</b>	241.626957	Muy alto	258.76268	Muy alto
<b>1989</b>	209.731564	Muy alto	153.080377	Alto
<b>1990</b>	275.731629	Muy alto	185.886565	Muy alto
<b>2015</b>	223.606811	Muy alto	187.731999	Muy alto
<b>2016</b>	332.935737	Muy alto	222.039043	Muy alto
<b>2017</b>	301.837978	Muy alto	255.524386	Muy alto
<b>2018</b>	354.794009	Muy alto	255.524386	Muy alto
<b>2019</b>	257.438422	Muy alto	206.383583	Muy alto

### Índice de concentración de la precipitación (ICP)

En el municipio de Cuernavaca el ICP se encuentra en un intervalo del 16.8% y 25.9% y la clasificación dentro la que entran estos valores corresponde a “Moderadamente estacional”, “Estacional” y “Altamente estacional” (Tabla 12).

Esto significa que las precipitaciones se distribuyen de manera contenida en cierto número de meses al año, lo que de acuerdo Castelán *et al.* (2014), indica que mantiene su efecto erosivo durante este intervalo de tiempo.

Tabla 10. Resultados del ICP en Cuernavaca y Tetela del Volcán

Cuernavaca			Tetela del Volcán	
Año	ICP (%)	Clasificación	ICP (%)	Clasificación
<b>1956</b>	18.50	Estacional	-	-
<b>1957</b>	25.90	Altamente estacional	-	-
<b>1958</b>	14.93	Moderadamente estacional	-	-
<b>1959</b>	18.60	Estacional	-	-
<b>1960</b>	20.37	Altamente estacional	-	-
<b>1986</b>	23.15	Altamente estacional	15.70	Estacional
<b>1987</b>	22.21	Altamente estacional	23.07	Altamente estacional
<b>1988</b>	22.28	Altamente estacional	21.76	Altamente estacional
<b>1989</b>	19.73	Estacional	17.08	Estacional
<b>1990</b>	18.43	Estacional	14.86	Moderadamente estacional
<b>2015</b>	16.81	Estacional	16.55	Estacional
<b>2016</b>	19.00	Estacional	16.25	Estacional
<b>2017</b>	21.39	Altamente estacional	20.92	Altamente estacional
<b>2018</b>	20.65	Altamente estacional	20.92	Altamente estacional
<b>2019</b>	18.29	Estacional	18.82	Estacional

Este índice es relevante ya que al indicar la concentración de la precipitación a lo largo del año, se puede establecer la agresividad de la misma, ya cuando los valores están próximos a la concentración uniforme ( $\approx 10\%$ ) puede presumirse que son poco relevantes y no son determinantes para producir la mayor agresividad en un tiempo determinado y, por ende, la erosión puede darse de igual manera en todos los meses del año.

#### IV.1.5 Registro de temperatura y humedad relativa en los sitios de estudio

Los resultados de las mediciones en las huertas, muestran que el promedio de la temperatura máxima registrada en los tres sitios fue en el mes de abril de  $30.4^{\circ}\text{C}$ ,  $33^{\circ}\text{C}$  y  $26.2^{\circ}\text{C}$  para la Huerta 1, 2 y 3 respectivamente. Como se observa en las gráficas, posterior a abril y mayo la temperatura desciende ligeramente y se mantiene estable y se presenta aumento en los meses de noviembre que se tomaron los datos.

Se observa que en el sitio dos la temperatura máxima fue más elevada que en el resto de los sitios, lo cual se debe a que es la huerta con menor altura con 1,810 msnm, comparada con los 1,903 msnm en la huerta uno y 2,057 msnm en la huerta tres.

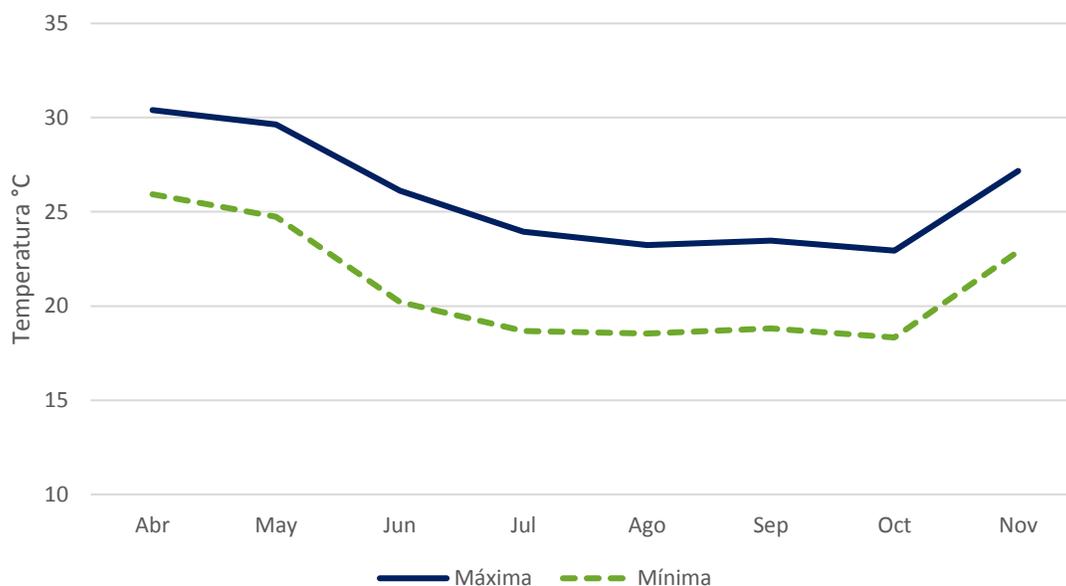


Gráfico 21. Temperatura máxima y mínima en el Sitio 1

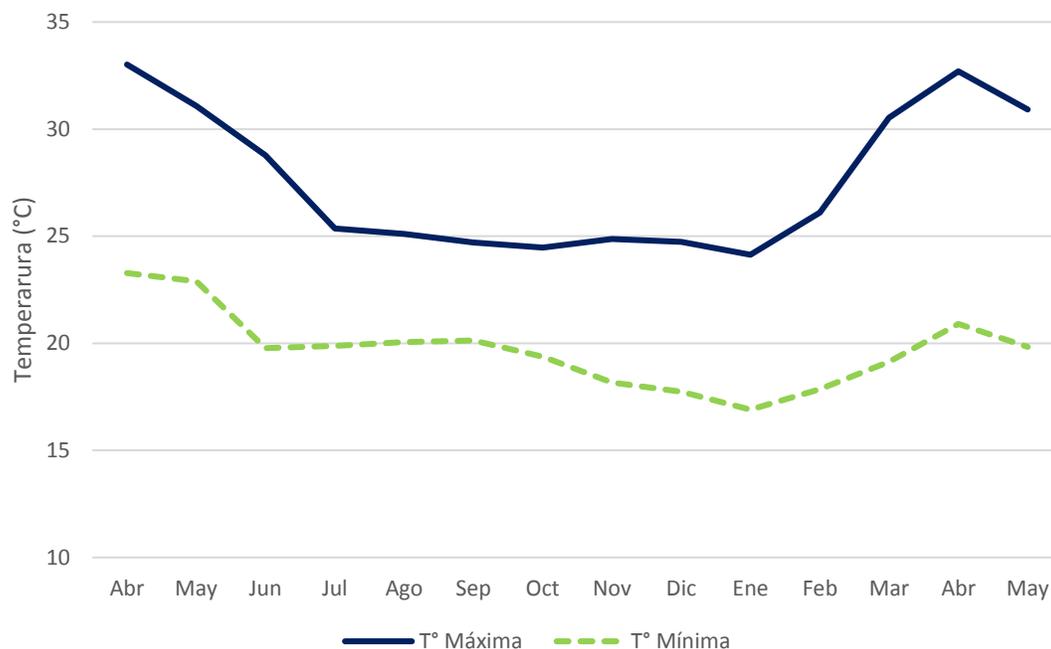


Gráfico 22. Temperatura máxima y mínima en el Sitio 2.

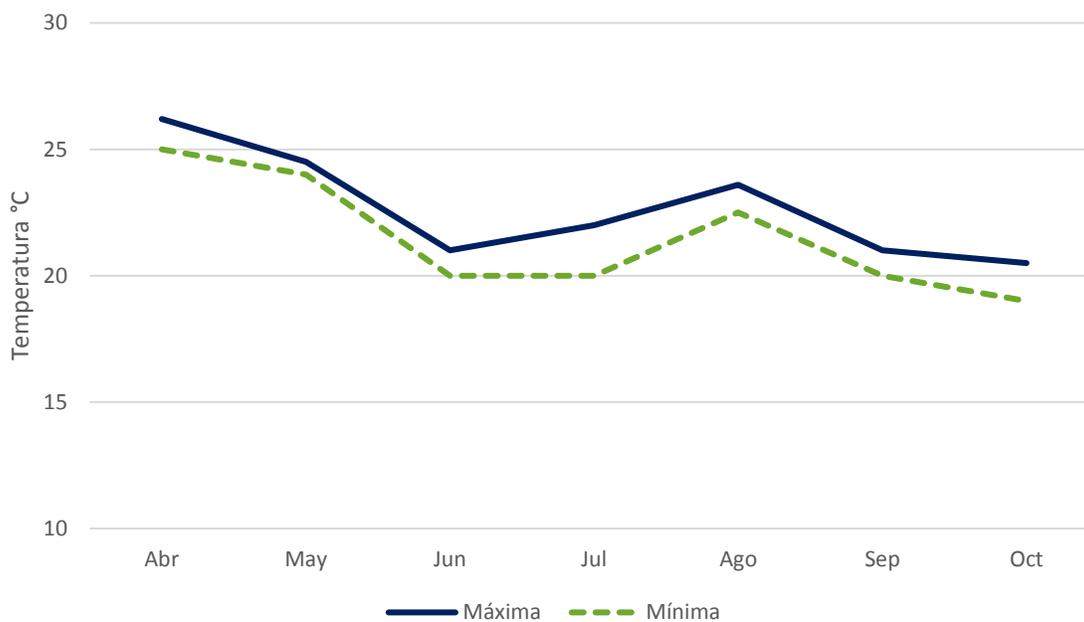


Gráfico 23. Temperatura máxima y mínima en el Sitio 3.

Los registros de humedad relativa máxima mostraron que en el sitio uno el promedio para abril, que fue el primer mes de registro fue de 18.08%, en el sitio 2 de 15.23% y fue de 22.4% en el sitio tres. Al transcurrir los meses y al aproximarse a la época de lluvia, la humedad relativa aumentó en las tres huertas de estudio, siendo julio el mes más húmedo en promedio

con 62.9%, 70.4% y 88%. Cabe mencionar que en los días lluviosos la humedad relativa es muy elevada, sin embargo el porcentaje baja al promediarse con el resto de los días del mes.

A diferencia de la temperatura, la humedad relativa es mayor en el sitio tres en comparación con los sitios uno y dos, lo que se atribuye a la diferencia de alturas en la que se encuentra cada una de las huertas.

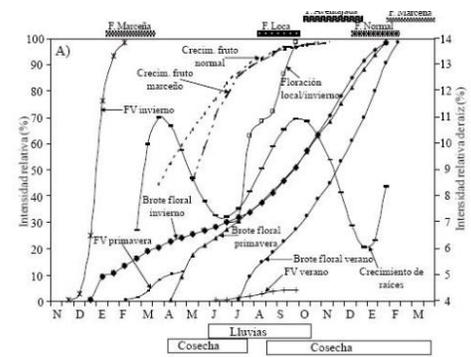
#### IV.1.6 Estudios fenológicos

Se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos sobre el comportamiento fenológico del aguacate Hass y otras variedades en los estados productores de México. Se revisaron estudios realizados en Nayarit, Jalisco, Estado de México y Michoacán siendo este último el sitio donde se reportan una mayor cantidad de trabajos realizados, esto debido a su importancia como principal productor del país.

Por otra parte, cabe destacar que como resultado de dicho análisis se identificó que la información respecto a este tema es escasa. Para Morelos no se encontraron estudios que describan la fenología del aguacate en las condiciones agroclimáticas del estado.

A continuación se presenta la recopilación de estudios sobre la fenología del aguacate en México

Tabla 11. Fenología del aguacate en los estados productores de México

Título/año/ autores	Lugar y clima	Etapas fenológicas estudiadas	Fenología	Modelo fenológico
1. Fenología del aguacate Hass en Michoacán  Tocja-Arroyo <i>et al.</i> (2011)	Michoacán 6 climas  6 sitios: -Cálido subhúmedo -Semicálido subhúmedo (seco) -Semicálido subhúmedo (húmedo) -Semicálido húmedo -Templado subhúmedo	Floración Flujo vegetativo Formación de fruto Crecimiento de raíz	<b>1.Crecimiento vegetativo:</b> <b>3</b> Invierno: inicio nov-dic, más intenso 100% Primavera: Inicio feb-marzo Verano: Inicio jun  <b>2.Desarrollo floral: 4 flujos, sólo se analizan 2</b> Loca: FV invierno y primavera- Fin de mayo, comienzo de junio. FV verano.-Fin de julio  Duración:	

-Templado húmedo

\*FL: (invierno: 8.5 a 9.5 meses) (Primavera: 5.5 a 6 meses  
Verano: 2.5 a 5.5 meses  
\*FN: Invierno 13 a 13.5 meses  
Primavera: 9.5 a 10.5 meses  
Verano : 7 a 7.5 meses

**3.Crecimiento de fruto (normal y marceña)**

FN: Antesis 20 de enero  
FM : Antesis 15 de marzo  
El crecimiento duró de 8 a 9 meses

2. Fenología del aguacate Hass, una herramienta para la planificación del cultivo en el estado de México

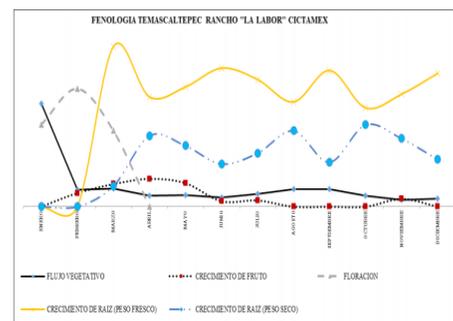
Estado de México  
3 sitios:  
-Templado subhúmedo  
-Templado subhúmedo y semiárido húmedo

Floración  
Flujo vegetativo  
Formación de fruto  
Crecimiento de raíz

**1.Crecimiento vegetativo: 2 flujos**  
Invierno  
Verano

**2.Desarrollo floral: 2 flujos**  
Invierno  
Verano

**3.Crecimiento del fruto**



Reyes-Alemán et al., (2015)

Semicálido, subhúmedo

3. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México

Nayarit  
2 sitios:  
Clima semicálido subhúmedo

-Desarrollo floral  
-  
Producción de raíces  
-Flujo vegetativo  
-  
Crecimiento del fruto  
-Caída del fruto

**1.Crecimiento vegetativo: 2 flujos**  
Invierno: Febrero, más intenso  
Verano: julio, cuando las lluvias estaban establecidas

**2.Floración: 2 flujos**  
-Invierno: Brotes en febrero. El desarrollo floral de brotes requirió 11.5 meses.

-Verano: Brotes en julio. Desarrollo duró 7.5 meses  
Brotes de invierno y verano alcanzaron la antesis al mismo tiempo

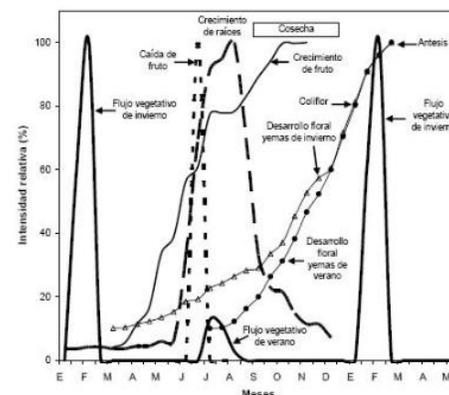


FIGURA 1. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México (2000 a 2005).

<p>4 Respuesta fenológica del aguacate (Persea americana Mill) al gradiente climático en Michoacán (2012) Tapia-Varga, L., Larios-Guzmán, A.</p>	<p>Michoacán Clima</p>	<p>-Desarrollo floral - Producción de raíces -Flujo vegetativo - Crecimiento del fruto -Caída del fruto</p>	<p><b>3.Crecimiento de fruto:</b> 8 meses Máximo tamaño en noviembre 1 periodo de cosecha corto</p> <p><b>1.Crecimiento vegetativo:</b> <b>3 flujos</b> Invierno Primavera Verano</p> <p><b>2.Floración: 4 flujos</b> Normal Marceña Loca Aventajada</p> <p><b>3.Crecimiento de fruto:</b> 9 a 11 meses</p>	
<p>5 Fenología del aguacate 'Méndez' en el Sur De Jalisco, México (2018) Salazar-García, S., Ibarra-Estrada, M., González-Valdivia, J.</p>	<p>Jalisco 2 sitios Semicálido subhúmedo</p>	<p>-Desarrollo floral - Crecimiento vegetativo - Crecimiento de fruto -Caída del fruto - Producción de Raíces</p>	<p><b>Crecimiento vegetativo</b> Verano Invierno</p> <p><b>2.Desarrollo floral</b></p> <p><b>3.Crecimiento del fruto:</b> Los de verano 10 meses Invierno 8 meses</p>	

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en todos los estados se presentan dos flujos de desarrollo floral (invierno y verano) a excepción de Michoacán el cual presenta cuatro floraciones. Por otra parte los flujos de crecimiento vegetativo se reportaron 2, invierno y verano y únicamente en Michoacán se observaron hasta 3 flujos de crecimiento. Salazar-García menciona que el particular comportamiento fenológico en Michoacán puede deberse a la altitud en la que se encuentran las huertas y que afectan los cambios de etapas.

**IV.1.7 Fenología del aguacate en Morelos**

En el estado de Morelos se identifican dos periodos de floración en el año, el de invierno o también denominado floración normal, el cual ocurre en los meses de diciembre, enero y febrero y del cual se obtiene aproximadamente el 70% de la producción total. La flor “loca”

o de verano se presenta en los meses de junio, julio y agosto, la cual genera menor cantidad de frutos, representando alrededor del 30% de la producción total. El crecimiento del fruto dura aproximadamente doce meses para los dos tipos de floración.

De acuerdo a los datos registrados se pudo identificó que en los árboles de estudio, los puntos cardinales, sur y oeste, fueron los que presentaron mayor cantidad de flores y posteriormente de frutos.

En la gráfica 24 se puede observar el crecimiento de los brotes seleccionados en cada uno de los puntos cardinales del árbol 2, que se encuentra en el sitio 2. Se realizaron las gráficas correspondientes para cada uno de los árboles de estudio para visualizar su crecimiento a través de las semanas.

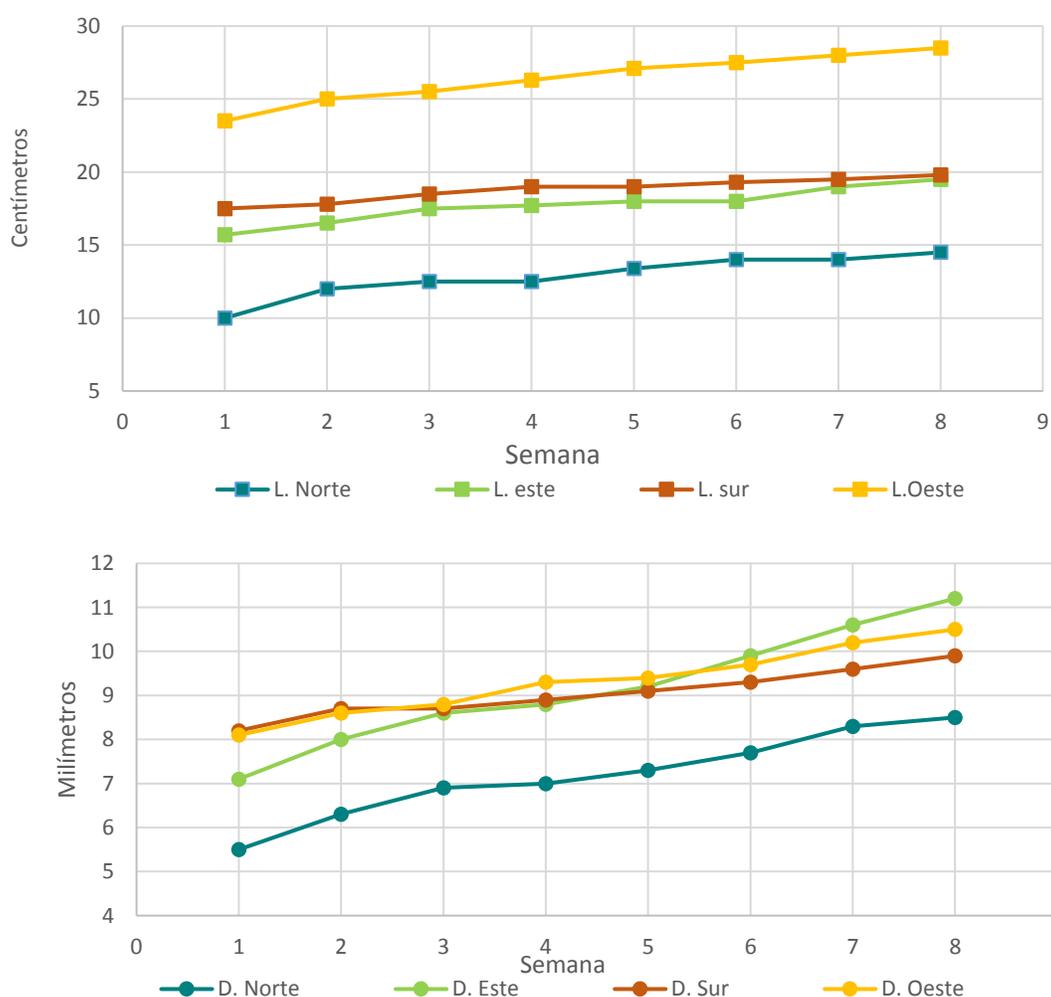


Gráfico 24. a) Largo del brote (cm) del árbol dos, oeste. 24.b Diámetro del brote (mm) del árbol 2, oeste.

En el gráfico 25 se observa la adaptación del modelo del comportamiento fenológico para Morelos, considerando como referencia estudios realizados por otros autores en climas y condiciones similares a las que presenta el estado (Álvarez-Bravo A. , Salazar-García, Ruíz-Corral, & Medina-García, 2017; Reyes Alemán, y otros, 2015), así como lo datos recabados en el presente estudio. Por otra parte se muestra la temperatura máxima mensual de los tres periodos temporales de estudio para Cuernavaca, así como del sitio dos.

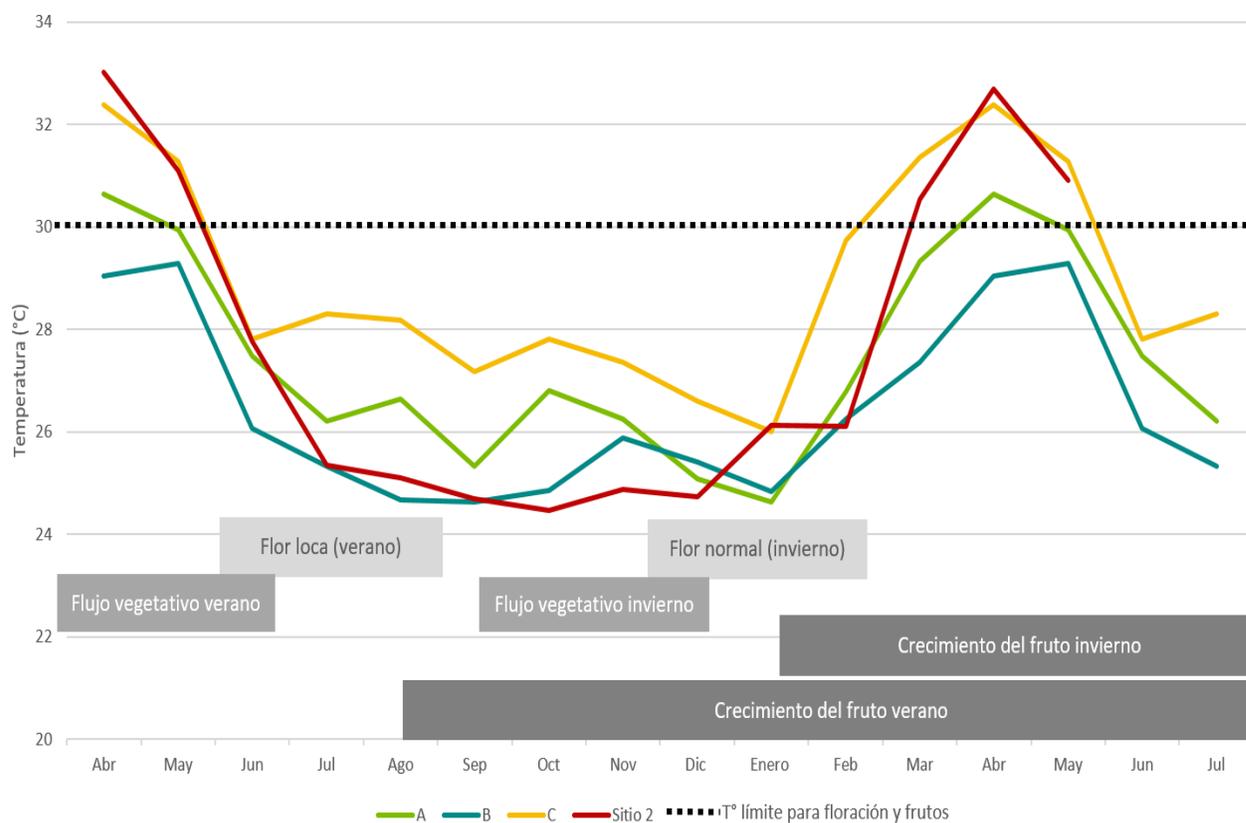


Gráfico 25. Temperatura máxima mensual en Cuernavaca para los periodos A, B, C y el sitio 2 (2019-2020), y fenología del aguacate ‘Hass’ en Morelos

Lo anterior permite identificar la etapa fenológica en la que encuentra el cultivo en determinado mes del año y relacionar dicha información con la temperatura máxima registrada para ese momento y de esta forma, determinar si se encuentra dentro del umbral máximo de temperatura para las etapas de floración y crecimiento del fruto (línea punteada).

Los meses de abril y mayo son los que presentan temperatura más elevadas, en donde los periodos B, C y el sitio dos superan los 30° C, sin embargo en los mes de junio, julio y agosto que son en los que se presenta la floración, se registraron temperatura por debajo del límite superior de temperatura para esta etapa, lo que indica que son condiciones adecuadas para esta etapa se desarrolle adecuadamente.



Gráfico 26. Temperatura mínima mensual en Cuernavaca para los periodos A, B, C y el sitio 2, y fenología del aguacate ‘Hass’

Respecto a la fenología de este cultivar relacionada a la temperatura mínima, en el gráfico 26, se presenta la relación de estas dos variables en Cuernavaca. Cabe mencionar que la temperatura representada en el gráfico del sitio 2 corresponde a la mínima registrada en el momento de la toma de datos, es decir entre las dos y tres de la tarde.

Se observa que las temperatura más bajas del año se presentan en enero, lo cual coincide con el periodo de floración de invierno. Así mismo es posible identificar que únicamente lo periodo A y C presentaron temperatura cercanas a los 10°C que es límite inferior para la etapa de floración. Las temperaturas mínimas del resto del año no representan un problema para el desarrollo de esta etapa.

#### IV.1.8 Relación con el cultivo de aguacate

El cultivo de aguacate Hass puede soportar temperaturas bajas de hasta -4 °C por periodos cortos de tiempo y máximas de 35°C. El INIFAP (1996) determinó que la variedad Hass es sensible a heladas y puede presentar daños visibles cuando se expone a -2.2°C por cuatro o más horas.

La presencia de temperaturas por debajo de 10°C en plena floración puede afectar gran parte de las flores polinizadas en las últimas horas al interferir con la fertilización (INIFAP, 1996).

Por su parte las temperaturas para el amarre del fruto son de 12 a 17°C en el límite inferior y mientras que en el límite superior de 28 a 30°C. Para la sucesión de las etapas de floración y fructificación se requieren temperaturas de 12 a 13°C (Ruiz-Corral, y otros, 2013).

La calidad de frutos maduros es excelente cuando este proceso de maduración se lleva a cabo a 20, 25 y 30°C, es regular a 35°C, y es anormal e inaceptable a 40°C (Eaks, 1978).

Tabla 12. Requerimientos de temperatura y precipitación para el aguacate

	Temperatura					Precipitación
	Planta		Floración y fructificación			
	Ideal	Máxima	Mínima	Mínima	Máxima	
<b>Hass</b>	14 a 24	33 a35	-2 a -4	≤10	≥ 30	1200-1800 mm

Fuente: (Ruiz-Corral, y otros, 2013; INIFAP, 2012).

A partir de dicha información y los registros, se identificó que el sitio dos presenta temperaturas máximas que se encuentran en el límite para el crecimiento, así como para el amarre del fruto. El sitio uno se encuentra dentro de un rango aceptable, sin embargo muy cercano al límite máximo.



Etapas de floración del aguacate Hass en el sitio dos



Etapas de floración del aguacate Hass y cuajado del fruto en el sitio dos

La información presentada mostró que al menos dos de las huertas de estudio, las que se ubican en Cuernavaca, se encuentran en lugares que registran temperaturas muy cercanas a los requerimientos límite de temperatura máxima para el desarrollo de las etapas fenológicas de crecimiento vegetativo y del fruto, por lo que se puede inferir que son vulnerables a las modificaciones de las variables climáticas, especialmente de temperatura, ya que un incremento podría representar alteraciones en las etapas mencionadas que se traducen en bajos rendimientos y pérdidas para los aguacateros.

La información presentada mostró que al menos dos de las huertas de estudio, las que se ubican en Cuernavaca, se encuentran en lugares que registran temperaturas muy cercanas a los requerimientos límite de temperatura máxima para el desarrollo de las etapas fenológicas de crecimiento vegetativo y del fruto, por lo que se puede inferir que son vulnerables a las modificaciones de las variables climáticas, especialmente de temperatura, ya que un incremento podría representar alteraciones en las etapas mencionadas que se traducen en bajos rendimientos y pérdidas para los aguacateros.

Los valores de humedad relativa registrados en los sitios se encuentran en un intervalo aceptable de acuerdo a los requerimientos de los árboles ya que en la literatura se establece que requieren de una humedad ambiental relativamente alta, aún durante la época de secas, sin embargo ésta no debe ser mayor al 60%, ya que humedades superiores a este valor inducen la proliferación de enfermedades en hojas, tallos y frutos (Coria, 2009).

#### IV.1.9 Producción de aguacate en Cuernavaca y Tetela del Volcán

Como una referencia del comportamiento de la producción de aguacate en el estado de Morelos a través de los años, se obtuvieron los registros anuales de producción y rendimiento de los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán.

Los datos fueron obtenidos del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). El municipio de Tetela del Volcán cuenta con registros desde el año 2004 al 2017, mientras que Cuernavaca se encontraron datos desde el 2009 al 2017. En las Tablas 15 y 16 se muestra la producción en toneladas por año de aguacate en ambos municipios.

#### Cuernavaca

Riego + Temporal

Tabla 13. Producción y rendimiento de aguacate en el municipio de Cuernavaca (Riego + temporal)

Año	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (miles de Pesos)
2009	120.00	120.00	1,080.00	9.00	9,800.00	10,584.00
2010	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	120.00	12000	1440.00	12	8000	11,520
2013	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2014	150.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2015	150.00	140.00	1,218.00	8.70	13,131.03	15,993.59
2016	165.00	145.00	1,247.00	8.60	9,457.67	11,793.71
2017	170.00	165.00	1,452.00	8.80	8,000.00	11,616.00

## Tetela del volcán

Tabla 14. Producción y rendimiento de aguacate en Tetela del Volcán (riego+temporal)

Año	Sup. Sembrada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (miles de Pesos)
2004	722.00	722.00	10,104.00	13.99	6,000.00	60,624.00
2005	907.00	717.00	8,348.00	11.54	6773.12	56,542.00
2006	717.00	717.00	6,803.20	9.49	8,670.27	58,985.60
2007	717.00	717.00	7,856.00	10.96	9,627.29	75,632.00
2008	880.00	880.00	7,036.00	8.00	9,818.87	69,085.60
2009	880.00	880.00	9,530.00	10.83	8,620.40	82,152.40
2010	922.00	747.00	7,001.76	9.37	10,544.25	73,828.28
2011	895.00	753.00	7,071.60	9.39	10,525.04	74,428.87
2012	1,082.00	1,082.00	11,180.00	10.33	7,593.10	84,890.80
2013	1,094.00	1,064.00	8,073.20	7.59	8,522.81	68,806.32
2014	1,130.00	1,075.00	8,656.50	8.05	8,836.28	76,491.26
2015	1,350.00	1,175.00	9,632.50	8.20	13,219.97	127,341.34
2016	1555.00	1,370.00	11,423.00	8.34	9,611.96	109,797.43
2017	1,590.00	1,526.00	12,683.17	8.31	15,346.51	194,642.45

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIAP 2019.

Como se puede observar en el gráfico 16, la producción en los dos municipios no ha sido constante, ha presentados periodos donde la producción aumenta y disminuye drásticamente. Como se ha mencionado anteriormente, hay una gran variedad de factores que pueden influenciar la producción final de aguacate, tales como el manejo adecuado de la huerta (fertilización, podas, riegos etc.), plagas y enfermedades, factores sociales y económicos, eventos extremos como heladas, así como la temperatura y precipitación que son el objeto de estudio de la presente investigación.

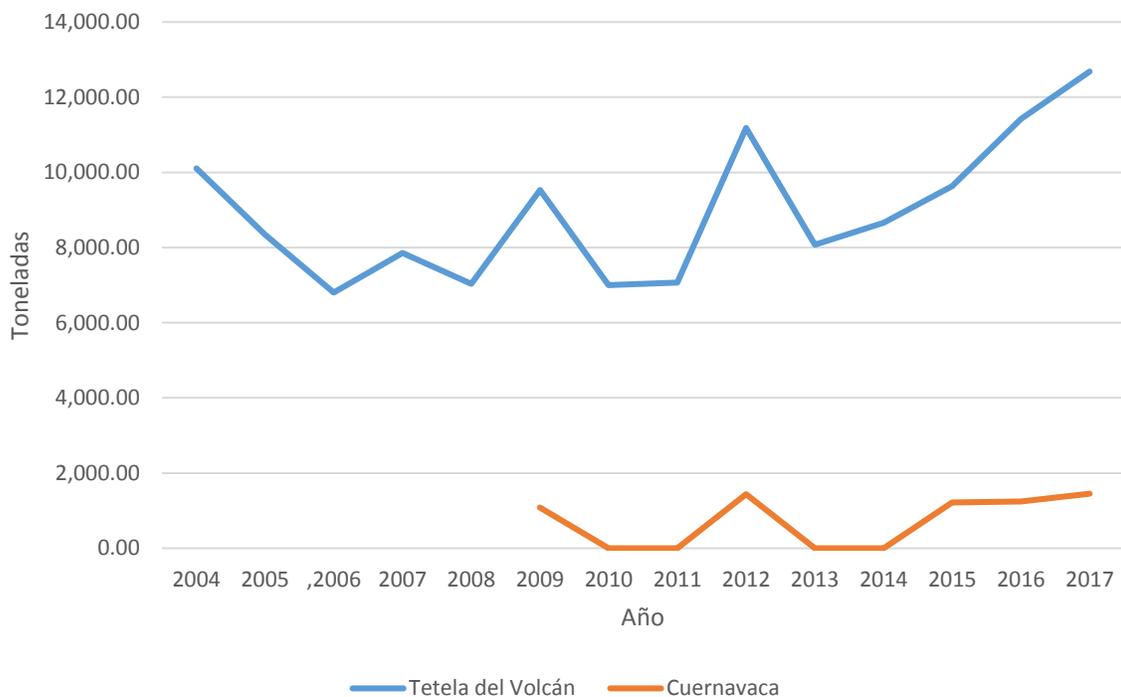


Gráfico 27. Producción por año de los municipios de Cuernavaca y Tetela del Volcán. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SIAP, 2019

Los datos aquí presentados pueden ser sujetos a un análisis más profundo sobre las causas específicas de la diferencia de la producción de un año a otro y posiblemente en algunos casos llegar a la conclusión que los factores del clima ha sido los responsables de dichas variaciones.

## IV.2 DISCUSIÓN

Los agrohábitats de los sitios donde se encuentran las huertas de estudio corresponde al II-C-1 para los ubicados en Cuernavaca y IV-C-5 para Tetela del Volcán, los cuales resultaron adecuados para el cultivo del aguacate de acuerdo a sus requerimientos edafoclimáticos. La ubicación de los sitios presentaron diferencia altitudinales ya que lo que se en Cuernavaca están entre los 1800 y 1900 msnm, y el sitio de Tetela del Volcán a una altura de 2056msnm. Salazar-García *et. al.* (2007) en una investigación realizada en huertas de aguacate Hass en dos municipios de Nayarit, con diferentes alturas de 900 y 1200msnm encontraron que esta diferencia no afectó el desarrollo floral de los brotes del flujo vegetativo de invierno, el cual es el de mayor importancia para la producción de brotes florales (Salazar-García, Cossio-Vargas, González-Durán, & Lovatt, 2007).

Respecto a las actividades de manejo destaca el riego ya que es una de las actividades que puede verse más afectada por la modificación de las precipitaciones. En los sitios de estudio, dos de ellos cuentan con un sistema de almacenamiento de agua para tenerla disponible para el riego, sin embargo para llenarse dependen de la lluvias. Por otro lado el sitio dos, obtiene el agua para el cultivo únicamente de la precipitación por lo que la hace más vulnerable a los cambios que se presentan en este elemento del clima.

Ahora, si se considera esta situación a nivel estatal, de acuerdo a la SAGARPA (2010) En Morelos en el año 2010, del total de superficie cultivada (2496.70 ha), sólo 40.3 ha se cultivaban bajo riego, esto quiere decir que el resto de la producción del estado depende del temporal de lluvias para suministrar el agua necesaria para los árboles El aumento en el volumen de la precipitación encontrado en el presente estudio puede presentar una amenaza en el manejo el aguacate es sensible al exceso de agua, encharcamiento, provocando asfisia radicular.

Otro aspecto a considerar sobre la precipitación y el manejo del cultivo es la aparición de enfermedades o plagas por exceso de humedad, ya que de acuerdo a lo obtenido en este estudio, la cantidad de lluvia ha aumentado en los últimos años en la zona norte de Morelos. Una de las enfermedades que prolifera en condiciones humedad relativa alta y lluvias continuas es la antracnosis, la cual es ocasionada por un hongo (*C. gloeosporioides*) que afecta las ramas, hojas, flores y frutos (Teliz & Mora, 2015; Rodríguez-López, Cárdenas-Soriano, Hernández-Delgado, Gutierrez-Diez, & Mayek-Pérez, 2013). Esto impacta directamente a los productores ya que deben realizar aplicaciones para controlar este tipo de enfermedades generando que el costo de producción se eleve.

Como se puede observar en el análisis de temperatura de los periodos de estudio, la tendencia general es a la de un ligero aumento en las temperaturas máximas en ambos sitios con el paso de los años, y específicamente en Cuernavaca, el aumento resultó con una diferencia significativa de acuerdo al análisis estadístico. Dichos resultados coinciden con lo reportado por Bolongaro *et. al.* (2013), quienes tras examinar los registros de temperatura de diversas estaciones meteorológicas de Morelos en el periodo 1961 al 2008, encontraron que los datos

muestran una tendencia de incremento de la temperatura máxima y en el número de períodos cálidos en el estado.

En el caso de temperaturas mínimas en el presente estudio, la tendencia al aumento no es tan generalizada en el municipio de Cuernavaca, sin embargo en Tetela del Volcán es posible identificar un incremento de las temperaturas mínimas en todos los meses del año en el periodo del 2015 al 2019 en comparación al de 1986 a 1990, y como se detectó con la prueba LSD en efecto el periodo B y C son significativamente diferentes. Bolongaro *et. al.* (2013) reportan resultados similares respecto a un aumento no generalizado de temperaturas mínimas para la mayoría de las estaciones analizadas en el estado, únicamente mencionan cinco que sí obtuvieron tendencias positivas en el número de días con temperaturas por encima de los 20°C y temperaturas mínimas por encima del 90 percentil.

Una de las posibles causas que los autores de dicho estudio refieren, es el proceso de creciente urbanización que municipios como Cuernavaca y Cuautla han experimentado en los últimos 40 años. Sin embargo precisan que se requieren análisis más profundos para determinar la verdadera influencia del crecimiento de las ciudades en los aumentos de temperatura.

De acuerdo a la descripción de la precipitación en Morelos, en la mayor parte de la entidad el mes más lluvioso es junio, seguido de los meses de julio, agosto y septiembre, sin embargo los resultados obtenidos del análisis de precipitación muestran modificaciones en estos patrones en los periodos B y C. En el periodo A, para el caso de Cuernavaca el volumen de precipitación acumulada muestra el comportamiento antes descrito, es decir el mes más lluvioso en junio y en los meses posteriores disminuye gradualmente. En el periodo B del mismo municipio, el mes con mayor precipitación es julio, seguido de agosto, septiembre con volúmenes similares y el mes de junio en cuarto lugar; en el periodo C, septiembre es el mes más lluvioso, le siguen junio, agosto y después se encuentra el mes de julio.

Para el caso de Tetela del Volcán el mes más lluvioso en el periodo B fue junio, seguido de julio, agosto y septiembre, es decir tuvo un comportamiento de acuerdo al patrón de lluvias registrado para el estado. El periodo C mostró algunas modificaciones ya que el mes más lluvioso fue junio, y a continuación septiembre y agosto pero destaca que estos tres meses tuvieron precipitaciones totales muy similares con 261.25, 252.99 y 253.94 respectivamente, seguidos de julio y por último octubre.

Los datos anteriores muestran un desfase en el inicio y término de las temporadas de lluvia para estas localidades. Datos similares fueron reportados por Bolongaro (2012) para el caso de Cuernavaca, en donde el inicio de la estación lluviosa se retrasó un día y el final, seis días. Respecto a estas alteraciones que presenta el régimen de lluvias, Granados y Longar (2008) mencionan que la presencia de precipitaciones tempranas, tardías e interrupción en esta época, pueden afectar gravemente el desarrollo de los cultivos, además que representa una incertidumbre para los agricultores.

En el comportamiento de la precipitación total por periodos, la variabilidad climática muestra un aumento en ambos municipios, conforme los periodos son más recientes, es decir actualmente llueve más que en los años anteriores como se pudo comprobar con el resultado

del análisis estadístico LSD en donde ambos periodos obtuvieron diferencias significativas entre sus periodos (0.05); en su estudio Bolongaro *et. al.* (2012) indican que en la zona sur de Morelos la precipitación ha disminuido, mientras que en la zona central y norte, el cambio de precipitación total marca un aumento, coincidiendo con lo encontrado en el presente análisis.

El análisis realizado con RClindex concuerda con estos resultados al presentarse aumentos en ambas estaciones meteorológicas de Cuernavaca y Tetela del Volcán, en los índices de los días húmedos y el máximo de lluvia durante cinco días consecutivos. En ambos sitios la tendencia es de aumento del volumen de lluvia con porcentajes superiores al 30%.

Como se observa en los resultados obtenidos y comparados con otros estudios, los elementos del clima de temperatura y precipitación han presentado alteraciones en sus valores a través del tiempo a nivel local. Los rendimientos cuantitativos de las plantas están vinculados con numerosos elementos del entorno, pero son la temperatura y la precipitación los que, por sus efectos directos, acusan las más estrechas relaciones con los cultivos (De Fina y Ravelo, 1973).

Diversos autores exponen cómo el aumento de las temperaturas provocan alteraciones en el ciclo fenológico de los cultivos, al acortar la duración de éste (Alien *et al.* 1991, (Bernal-Estrada, Vásquez-Gallo, & Cartagena-Valenzuela, 2017)). Lo anterior también concuerda con lo obtenido por Ojeda *et. al.* (2011), en un estudio realizado en el estado de Sinaloa sobre maíz, quienes concluyen que el mayor impacto por el incremento de la temperatura es la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales.

Con base en la evidencia mostrada por estos estudios, se puede inferir que un aumento de la temperatura, como el que se presenta en estos dos municipios productores de aguacate de Morelos, puede ocasionar modificaciones en el ciclo fenológico de este cultivo. Respecto a dicha alteración, Monteith (1981) establece que el acortamiento del ciclo fenológico del aguacate puede reducir el rendimiento.

Ortíz y Ortega (2015) calcularon índices de vulnerabilidad frente al cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán y sus resultados arrojan que las proyecciones de incremento de la temperatura muestran valores por encima de la media. Además, los índices de temperatura en la región de estudio proporcionan evidencia clara de una tendencia reciente al aumento en la frecuencia de días calurosos.

Por su parte Álvarez-Bravo *et. al.* (2017) mencionan que un incremento en la temperatura máxima podría representar un factor limitante para el cultivar Hass en Michoacán, ya que las temperaturas altas (33°C) durante la floración no sólo acortan el periodo de apertura de flores, sino que reducen la cantidad de flores que abren (Sedgley & Annells, 1981). A su vez los periodos cortos de floración disminuyen la probabilidad de cuajado de fruto y consecuentemente la producción de fruto. La caída de los frutos también es influenciada por las temperaturas extremas máximas y por la baja humedad relativa asociada a altas temperaturas como lo demostraron Lahav y Zamet (1999) quienes registraron las diversas etapas de abscisión de brotes, flores t frutos en aguacate “Fuerte” en 12 árboles.

Lo anterior representa una amenaza a la producción de aguacate principalmente en el municipio de Cuernavaca, ya que actualmente presenta temperaturas que se encuentran en los límites máximos para la sucesión de las etapas fenológicas, especialmente de floración y formación de fruto. Para el caso del presente estudio la temperatura máxima promedio en Cuernavaca durante el periodo C fue de  $32.39^{\circ}\text{C}$ , en el mes de abril, cabe destacar que para este momento del año no representa una problemática para el comportamiento fenológico, ya que la floración ocurre a partir del mes de junio y en este mes la temperatura está aún por bajo del umbral crítico.

Sin embargo, se debe considerar la tendencia de aumento de temperaturas en Morelos, lo que fue comprobado por los análisis realizados en este estudio y en el de Bolongaro *et al.* (2013) lo que significa temperaturas cercanas estos valores críticos para el cultivo en los meses en donde ocurre la floración en verano en Cuernavaca, ya que se encuentra en una temperatura de  $28.7^{\circ}\text{C}$ .

Referente a la precipitación se ha reportado un incremento de las demandas hídricas de los cultivos por efecto del cambio climático (Rodríguez *et al.*, 2007). Debido al impacto del cambio climático, la modificación de los componentes del ciclo hidrológico, principalmente la evapotranspiración y la precipitación, tendrá un efecto radical en las demandas de riego y en la gestión de los sistemas de riego.

Como se observó en los resultados que arrojó el análisis de precipitación, la temporada de lluvias presenta un desfase en el inicio de ésta, lo que podría afectar las etapas fenológicas, especialmente la floración, como lo menciona la FAO (2014) que establece que el impacto sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento de los cultivos alterara los rendimientos debido a que el inicio de la floración puede modificarse.

Respecto a la producción de esta fruta en Cuernavaca y Tetela del Volcán, se observó que de forma general hay un aumento, sin embargo hay años en los que las toneladas por hectárea disminuyen. Hay una gran variedad de factores que pueden influir en estas fluctuaciones, como el manejo que le dan los productores, acceso a insumos agrícolas, la gestión socio-política, sin embargo son los factores climáticos los que no pueden ser controlados, especialmente los eventos extremos

Ante la variabilidad que presenta el clima a nivel mundial y a nivel local como se comprobó en el presente estudio, con la presencia más frecuente e intensa de sequías, excesos de humedad, temperaturas altas, heladas, vientos fuertes, etc., se requiere la práctica de una agricultura menos expuesta a tales riesgos climáticos y más basada en conocimientos científicos y en el uso racional y sustentable de insumos agrícolas (Ruiz Corral, y otros, 2013; Salazar-García, Medina-Carrillo, & Álvarez-Bravo, Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido del fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate Hass, 2016).

## CAPÍTULO V

### V.1 CONCLUSIONES

La zona productora de aguacate del Estado de Morelos presenta las condiciones agroclimáticas favorables para su cultivo y crecimiento del mercado, sin embargo es esencial mantener un monitoreo de los elementos del clima que influyen en el desarrollo de la planta, principalmente temperatura y precipitación, ya que se han demostrado modificaciones con tendencia al aumento que pueden representar dificultades para los productores.

A partir de los registros históricos de temperatura y precipitación obtenidos de la CONAGUA, fue posible realizar un análisis de las variaciones que se han presentado a través de los años. Se identificó que sí se han registrado modificaciones en la temperatura máxima en la localidad de Cuernavaca (estación 1704) al presentar diferencias significativas (LSD 0.05) en el aumento de este elemento climático del periodo C respecto al B.

Referente a la temperatura mínima el municipio de Tetela del Volcán (estación 1746), mostró un aumento en todos los meses del periodo actual exceptuando el mes de Junio, en comparación con el periodo de 1986-1990. Dicho aumento de las temperaturas mínimas fue significativo del periodo B al C.

La precipitación fue el elemento climático que presentó mayores cambios en el comportamiento en los distintos periodos. La tendencia que presenta es a un aumento de la precipitación con el paso de los años, es decir que actualmente llueve en mayor cantidad que hace 60 años en Cuernavaca y que hace 30 años en Tetela del Volcán al obtenerse diferencias significativas en el análisis estadístico.

Otro aspecto a destacar es que los meses en los que se registran los mayores volúmenes de lluvia han cambiado, siendo que para Cuernavaca el mes más lluvioso era junio en el primer periodo y actualmente es el mes de septiembre. Por su parte, en Tetela del Volcán en ambos periodos, la mayor precipitación se registra en Junio, pero la distribución de lluvias se ha modificado, presentándose altos volúmenes de lluvia aún en agosto y septiembre, siendo muy similares a los del mes más lluvioso.

Se identificó que de acuerdo a los requerimientos límite del cultivo, las huertas que se ubican en Cuernavaca son más vulnerables a los cambios de temperatura, especialmente a un aumento de ella, que ha sido demostrado que es la tendencia con el Cambio Climático (IPCC, 2014).

Con respecto a la fenología del aguacate, las variaciones que se han identificado a través de análisis de los registros históricos con los actuales pueden representar alteraciones para las etapas fenológicas del aguacate además de los eventos climáticos extremos como heladas.

La descripción de los modelos fenológicos para cada región es esencial para el óptimo manejo del cultivo, debido a que nos permite lograr un buen cuajado del fruto y por lo tanto buenos rendimientos. En el caso de Morelos aun es necesario desarrollar más investigaciones

para detallar la duración de cada una de las etapas, mejorar así el manejo del cultivo y tomar las medias respectivas de acuerdo a las variaciones de temperatura y precipitación halladas en el presente estudio.

## **PERSPECTIVAS**

En Morelos no se habían realizado estudios que presenten información fenológica, por lo que es fundamental profundizar en el análisis del comportamiento fenológico en la zona productora de aguacate del estado. Es fundamental que se considere un periodo de estudio más largo para observar el desarrollo de las etapas durante más de un año, para establecer de manera más detallada el inicio y duración de cada una de las etapas.

Realizar estudios que integren el impacto de eventos extremos del clima, especialmente heladas y granizadas que en corto plazo son las que directamente provocan pérdidas en la producción.

Integrar la información generada en el presente estudio con los costos reales que podrían ocasionar a los productores derivados de las modificaciones de los elementos del clima y la acciones dentro del manejo del cultivo que podrían llevar a cabo para mitigar dichos impactos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz Ariza, F. (2012). *Factores globales y relieve*. Murcia, España: Universidad de Murcia.
- Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruíz-Corral, J., & Medina-García, G. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4035-4048.
- Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruíz-Corral, J., & Medina-García, G. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(19), 4035-4048.
- Bernal-Estrada, J., Vásquez-Gallo, J., & Cartagena-Valenzuela, J. (2017). *Fenología del aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia, Colombia*. Jalisco, México: Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate. .
- Bologaro-Crevenna, A., Torres Rodríguez, V., Chavarría Hernández, J., Pohle Morales, O., García Vicario, F., & Barahona Echeverría, O. (2013). Escenarios de Cambio climático en el Estado de Morelos. En Ortíz, L. Ortíz-Hernández, & E. Sánchez-Salinas, *Cambio climático: Vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos* (págs. 17-53). Cuernavaca, Morelos: UAEM.
- Castelán-Vega, R., Tamariz-Flores, R., & Linares, G. C. (2014). Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas*(83), 29-41. doi:dx.doi.org/10.14350/rig.33480
- CEDRSSA. (2017). *Caso de Exportacion: El Aguacate*. Ciudad de Mexico: Camara de Diputados LXIII Legislatura. Obtenido de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/54Exportaci%C3%B3n%20aguacate.pdf>
- Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J.-., V.-C., Arreola-Ávila, J. G., & Constante-García, V. (2011). El Niño Oscilación del Sur y sus efectos en la precipitación en la parte alta de la cuenca del río Nazas. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17. doi:http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.076
- Conde, C., Ferrer, R., & Orozco, S. (2006). Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A mexican case study. *Atmósfera*, 19(3).

Coria, V. M. (2009). *Tecnología para la producción de aguacate en México* (Segunda ed.). Uruapan, Michoacán: SAGARPA-INIFAP.

Cornelius, C., Petermerier, H., Estrella, N., & Menzel, A. (2011). A comparison of methods to estimate seasonal phenological development from BBCH scale recording. *Int J Biometeorol*, 55(867-877). doi:DOI 10.1007/s00484-011-0421-x

De la Casa, A., & Ovando, G. (2006). Influencia de Episodios El Niño-Oscilación Sur (ENOS) Sobre la Precipitación y el Rendimiento de Maíz en la Provincia de Córdoba, Argentina. *Agricultura técnica*, 66(1), 80-89.

Del Moral, B. L., & Murillo, V. B. (octubre- diciembre de 2016). Producción y precio del aguacate en México, 2011- 2016. *Economía Actual*(43), 3-7. Obtenido de [http://web.uaemex.mx/feconomia/Publicaciones/e904/EA2016-94\\_Del%20Moral-Murillo.pdf](http://web.uaemex.mx/feconomia/Publicaciones/e904/EA2016-94_Del%20Moral-Murillo.pdf)

Dominguez, J. (2016). Revisión Histórica de las sequías en México: de la explicación divina a la incorporación de la ciencia. *Tecnología y ciencias del agua*, 77-93. doi:ISSN 0187-8336

Duarte, C. M., Alonso, S., Benito, G., Dachs, J., Montes, C., Prado, M., . . . Valladares, F. (2008). *Cambio global. El impacto del hombre sobre el sistema Tierra*. Madrid: Cyan, Proyectos y Producciones Editoriales.

Durán, F. (2013). *Cultivo del aguacate o palta*. Colombia : Printer Colombia.

FAO. (2009). *Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, D.C.: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. doi: 10.2499/0896295370

FAO. (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma: Fiat Panis. doi:978-92-5-309873-6

FAO, UNICEF y OMS. (2018). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. Fomentando la*. Roma, Italia: FAO. Recuperado el 2018, de <http://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>

FAO-SAGARPA. (2014). *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. Ciudad de México: FAO.

FAOSTAT. (17 de Noviembre de 2018). *FAOSTAT*. Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#country>

- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (Quinta Edición ed.). Ciudad de México.
- García-Flecha, M., & Viladrich-Grau, M. (2007). El cambio climático en la agricultura española, un enfoque Ricardiano. *Estudios de economía aplicada*, 25(1).
- Gastiazoro, B. (2004). *Fenología agrícola*. Argentina: Universidad Autónoma de Comahue, Argentina.
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C., Eakin, H., & Viller, L. (2006). Potential impacts of climate change on agriculture: A case of study of coffee production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change*, 79(3-4), 259-288.
- Grandos-Ramírez, R., & Longar Blanco, M. (2008). Variabilidad pluvial,. *Análisis económico*, XXIII(54), 283-303.
- Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición. (2012). *La seguridad alimentaria y el cambio climático*. Roma. Recuperado el 25 de mayo de 2018, de <http://www.fao.org/3/a-me421s.pdf>
- Hernández-Ramírez, C., Bonales, J., & Ortíz, C. (2014). Modelos de Vulnerabilidad Agrícola ante los efectos del cambio climático. *CIMEXUS*, 9(2), 31-48.
- Herrera, M. J., Rojas, J. F., Quirós, F. A., Balma, M. C., & Anchía, L. D. (2017). Desarrollo de inventarios de emisiones de gases efecto invernadero, una herramienta de apoyo en la agenda local de cambio climático. *Revista Geográfica de América Central*, 153-180. doi:1011-484X
- Hewitt, C., & Jackson, A. (2003). *Handbook of atmospheric science*. Victoria, Australia: Blacwell publishing.
- Howden, M., Newett, S., & Deuter, P. (2005). Climate Change -Risks and Opportunities for the Avocado. *New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference*, 19.
- ICA. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo de aguacate Hass*. Bogotá Colombia: ICA.
- IFPRI. (2009). *Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. International Food Policy Research Institute. Washington, Estados Unidos: IFPRI. doi:: 10.2499/0896295370
- INECC. (12 de Julio de 2018). *Evidencias del Cambio Climático*. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-evidencias-hay-del-cambio-climatico>

- INEGI. (2007). *Censo agrícola, ganadero y forestal 2007*. Ciudad de México: INEGI.
- INIFAP. (2012). *Impacto del cambio de uso de suelo forestal a* (Primera Edición ed.). Ciudad de México: SAGARPA. doi:ISBN 978-607-425-825-7
- INIFAP. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Tetoatlán de Morelos, Jalisco: SAGARPA.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass (Persea americana MLL) Medidas para la temporada invernal*. Ministerio, Sanidad agropecuaria e inocuidad en la producción primaria , Bogotá.
- IPCC. (2001). *Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. PNUMA. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007. Informe de síntesis*. Suecia: PNUMA.
- IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- King, Y. (2018). *Caracterización de la semilla y cáscara de aguacate variedad Hass para el desarrollo de una aplicación*. Estado de México: UNAM. Obtenido de <http://132.248.9.195/ptd2018/junio/0775208/Index.html>
- Lahav, E., & Zamet, D. (1999). Flowers, fruitlets and fruit drop in avocado trees. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 95-100.
- Lince-Salazar, L., & Castro-Quintero, A. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Cenicafé*, 66(1), 25-31.
- López, A., & Hernández, D. (Octubre de 2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latin. *El trimestre económico*, 459-496.
- Maddison, D., Manley, M., & Kurukulasuriya, P. (2007). The Impact of Climate Change: A Ricardian Approach. *Policy Research Working Paper. World Bank*, 1-25.
- Magaña-García. (2014). *Evaluación integral de los impactos de la variabilidad y el cambio climático en la agricultura de maíz en el estado de Michoacan*. Tijuana: Centro de investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Mendelsohn, R., & M., S. (1999). Climate response functions. *Atmospheric Sciences*, 28(4), 1-5. Obtenido de <https://experts.illinois.edu/en/publications/climate-response-functions>

- México Resiliente . (2013). *CONANP*. Obtenido de <http://cambioclimatico.conanp.gob.mx/documentos/Herramientas-para-la-adaptacion.pdf>
- Molina, M., Sarukhán, J., & Carabias, J. (2017). *Cambio Climático. Causas efectos y sooluciones*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica. doi:9786071643858
- Molua, E., & Lambi, C. (2007). The Echonomic Impact of Climate Change on Agriculture in Cameroon. *World Bank*.
- Monteith, J. (1981). Climatic variation and the growth of crops. *Quarterly Journal of the Royal Metereological Society*, 749-774.
- Monterroso-Rivas, A., Conde-Alvarez, C., Gomez-Diaz, D., & Lopez Garcia, J. (2007). Vulnerabilidad y Riesgo en Agricultura por Cambio Climatico en la Refion Centro del Estado de Veracruz, Mexico. *Zonas aridas*.
- Musseta, P., Barrientos, M. J., Acevedo, E., Turbay, S., & Ocampo, O. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas. *EMPIRA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*(36), 119-147.
- Núñez, J., Carvajal, J., Mendoza, O., & Carrero, D. (2018). Indicadores del impacto del cambio climático en la agricultura familiar andina colombiana. *Revista Iberoamericana de Bioeconomia y Cambio Climático*, 4(7), 924-833.
- Ojeda- Bustamante, W., Sifuentes- Ibarra, E., Íñiguez- Covarrubias, M., & Montero- Martinez, M. J. (enero/febrero de 2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 1-11. doi:1405-3195
- Olaeta, J. (2003). *INDUSTRIALIZACIÓN DEL AGUACATE: ESTADO ACTUAL Y*. Chile: Congreso Mundial de Aguacate. Obtenido de [http://www.avocadosource.com/WAC5/papers/wac5\\_p749.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC5/papers/wac5_p749.pdf)
- OMM. (2007). *Programa mundial de datos y vigilancia del clima*. Ginebra, Suiza: Organización Metereológica Mundial. Obtenido de [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4547](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4547)
- ONU. (1992). *Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Río de Janeiro: Naciones Unidas.
- Ornelas, F., & al., e. (1990). *Delimitacion y definicion de agrihabitats del Estado de Morelos*. Zacatepec, Morelos: Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos.

- Ortíz Paniagua, C., & Ortega Gómez, A. (2015). Agricultura y cambio climático en la región aguacatera del estado de Michoacán. *Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México.*, 29.
- Pabón, J. D. (2003). El Cambio Climático y su Manifestación en Colombia. *Colombiana de Geografía*(12), 11-119. doi:2256-5442
- Putland, D., Muller, J., Deuter, P., & Newett, S. (2010). *Potential implications of climate change*. Sydney: Horticulture Australia.
- Reyes Alemán, J., Montiaguado Rodríguez, O., Urbina Sánchez, E., Aguilar Mendel, S., Mejía Carranza, J., & Espíndola Barquera, M. (2015). Fenología del aguacate Hass, una herramienta para la planificación del cultivo en el estado del México. *Manejo y técnicas de cultivo. Congreso Mundial de la Palta*, 371-375.
- Robles, H. (2016). La pequeña agricultura campesina y familiar: construyendo una propuesta desde la sociedad. *Entre Diversidades. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades.*, 7, 46-83.
- Rocha-Arroyo, J., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A., González-Durán, I., & Cossio-Vargas, L. (2011). Fenología del Aguacate "Hass" en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3).
- Rodríguez-López, E., Cárdenas-Soriano, E., Hernández-Delgado, S., Gutierrez-Diez, A., & Mayek-Pérez, N. (2013). Análisis de la infección de *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc. de frutos de aguacatero. *Comunicación científica*, 898-905.
- Ruiz Corral, J., Medina García, G., González Acuña, I., Flores López, H., Ramírez Ojeda, G., Ortíz, C., . . . Martínez, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (Segunda edición ed.). Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México: INIFAP.
- Ruiz-Corral, J. A., Medina, G., Ramírez, J. L., Flores, E., Ramírez-Ojeda, G., Manriquez-Olmos, J., . . . De la Mora-Orozco, C. (2011). CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS IMPLICACIONES EN CINCO ZONAS PRODUCTORAS DE MAÍZ EN MÉXICO. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Ruiz-Corral, J., Medina-García, G.-A., Flores-López, H., Ramírez-Ojeda, G., Ortiz-Trejo, C., Byerly-Murphy, F., & Martínez-Parra, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Tepatitlán, Jalisco: INIFAP.
- SAGARPA. (2011). *Monografía de cultivos. Aguacate*. Ciudad de México: SFA. Obtenido de

<http://www.sagarpa.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Monograf%C3%ADa%20del%20aguacate.pdf>

SAGARPA. (2016). *4° Informe de labores 2015-2016*. Ciudad de México. Recuperado el 21 de mayo de 2018, de [http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT\\_2016/Informe/CuartoInformeDeLabores\\_SAGARPA.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/Transparencia/POT_2016/Informe/CuartoInformeDeLabores_SAGARPA.pdf)

SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017- 2030. Aguacate Mexicano*. Subsecretaría de agricultura, Ciudad de Mexico. Recuperado el 22 de mayo de 2018, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>

SAGARPA. (2018). *Planeacion Agrícola Nacional 2017-2030*. Planeación, Ciudad de México. Recuperado el 27 de mayo de 2018, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257067/Potencial-Aguacate.pdf>

SAGARPA, SEDAGRO, FUNDACIÓN PRODUCE. (2010). *Agenda de Innovación Tecnológica del Estado de Moreos*. Morelos: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación .

SAGARPA-FAO. (2012). *México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. Ciudad de México: FAO.

Salazar-García, S., Cossio-Vargas, E., González-Durán, L., & Lovatt, J. (2007). Desarrollo Floral del aguacate Hass en clima semicálido. Parte I. Influencia de la carga de fruto y edad de los brotes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1), 27-92.

Salazar-García, S., Medina-Carrillo, E., & Álvarez-Bravo, A. (2016). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido del fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate Hass. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2565-2575.

Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R., & Álvares-Bravo, A. (2016). Evaluación inicial de algunos aspectos de calidad del fruto de aguacate Hass producido en tres regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2), 277-289.

Salazar-García, S., Medina-Carrillo, R., & Álvarez-Bravo, A. (2016 ). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate 'Hass'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* , Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos en la piel de frutos de aguacate "Hass".

Sánchez, S., Mijares, P., López-López, L., & Barrientos-Priego, A. (26 de 09 de 2007). *Historia del Aguacate en México*. Ciudad de México: CONABIO. Obtenido de

Aguacate: [http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex\\_1998-2001/CICTAMEX\\_1998-2001\\_PG\\_171-187.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998-2001/CICTAMEX_1998-2001_PG_171-187.pdf)

- Schelenker, W. H. (2006). "The impact of global warming on US agriculture: An econometric analysis of optimal growing conditions. *The Review of Economics and Statistics*, 113-125.
- Sedgley, M., & Annells, C. (1981). Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar "Hass". *Scientia Horticulturae*, 27-33.
- SIAP. (2 de enero de 2015). *Atlas agroalimentario*. (S. d. Pesquera, Editor) Recuperado el 19 de mayo de 2018, de [http://nube.siap.gob.mx/gobmx\\_publicaciones\\_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016](http://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016)
- SIAP. (2017). *Boletín mensual de la producción de Aguacate*. Ciudad de Mexico: SAGARPA. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290821/Boletin\\_mens\\_\\_aguacate\\_cifras\\_a\\_dic2017.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/290821/Boletin_mens__aguacate_cifras_a_dic2017.pdf)
- SIAP. (2019). *Boletín mensual de producción Aguacate*. Ciudad de México: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/486766/Bolet\\_n\\_mensual\\_produc\\_ci\\_n\\_de\\_Aguacate\\_julio\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/486766/Bolet_n_mensual_produc_ci_n_de_Aguacate_julio_2019.pdf)
- Tao, S., Xu, Y., Liu, K., Pan, J., & Gou. (2011). Research Progress in Agricultural Vulnerability to Climate Change. *Advances in Climate Change Research*, 2(4), 203-210.
- Tapia-Vargas, L., Larios, A., Vidales, I., Pedraza, M., & Barradas, V. (2011). Cambio Climático en la zona aguacatera de Michoacán : Análisis de precipitación y temoeratura a largo plazo. *Revusta Mexicana de Ciencias Agrícolas*(2), 325-335.
- Teliz, D., & Mora, A. (2015). *El aguacate y su manejo integrado*. Guadalajara, Jalisco: Editorial del Colegio de Postgraduados.
- Tinoco-Rueda, J., Gómez-Díaz, J., & Monterrosos-Rivas, A. (2011). Efectos del Cambio Climático en la distribución potencial del maíz en el Estado de Jalisco, México. *Tierra Latinoamericana*, 29(2), 161-168.
- USA-NPN. (18 de Febrero de 2015). *Why Phenology*. Obtenido de <https://www.usanpn.org/about/why-phenology>

- Vázquez- Valencia, R. A., & García- Almada, R. M. (2018). ndicadores PER Y FPEIR para el análisis de la sustentabilidad en el municipio de Cihuatlán, Jalisco, México. *Ciencias sociales y humanidades*, 27, 1-26. doi:<http://dx.doi.org/10.20983/noesis.2018.3.1>
- Villafán, V. K., Ortiz, P. C., & Infante, J. Z. (enero- junio de 2007). Mercado internacional de alimnetos y reconversión productiva: El caso del aguacate orgánico Michoacano. *INCEPTUM*(2), 129-153. doi:2007-9494
- Villalpando, J., & Ruíz, A. (1993). *Observaciones agrometereológicas y su uso en la agricultura*. México: Limusa.
- Whiley, A. W. (1990). Interpretación de la fenología y fisiología del palto para obtener mayores producciones. *Producción, postcosecha y comerialización de paltas*. FAO, 1-25.
- WMO. (17 de 03 de 2019). *Organización Metereológica Mundial*. Obtenido de El Niño y La Niña: <https://public.wmo.int/es/el-ni%C3%B1ola-ni%C3%B1a-hoy>
- WMO. (2020). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019*. Ginebra, Suiza: Organización de las Naciones Unidas.
- Wolstenholme, B. N., & Whiley, A. (1989). Carbohyfrate and phenological cycling as management tools for avocado orchards. *Avocado growers Assn*, 12(33), 37.
- Zhindon, P. D., Massa, S. P., & Bonilla, J. A. (2017). Relación del cambio climático con la producción agrícola en la Provincia del Azuay. *INNOVA*, 2(9.1), 55-64. doi:2477-9024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL  
ESTADO DE MORELOS



Facultad de Ciencias  
Químicas e Ingeniería



## ANEXOS

1. Promedios mensuales de temperatura máxima en la localidad de Cuernavaca

**TEMPERATURA MÁXIMA CUERNAVACA**

	<b>Año</b>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
<b>A</b>	1956	23.96	27.03	29.77	30.90	27.67	24.60	24.80	25.80	24.70	26.67		25.90
	1957	26.54	27.64	28.80	31.26	31.09	28.43	26.70	26.67		26.51	28.10	25.35
	1958	21.77	25.18	30.09	32.36	30.09	27.60	26.58	27.19	24.76	28.87	25.06	23.96
	1959	24.96	27.42	28.93	28.76	29.80	26.86	26.30	26.54	26.30	25.51	25.03	24.93
	1960	25.96	26.37	29.09	29.93	31.09	29.96	26.67	26.96	25.56	26.48	26.83	25.25
	<b>Media</b>	<b>24.64</b>	<b>26.73</b>	<b>29.34</b>	<b>30.64</b>	<b>29.95</b>	<b>27.49</b>	<b>26.21</b>	<b>26.63</b>	<b>25.33</b>	<b>26.81</b>	<b>26.26</b>	<b>25.08</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>1.88</b>	<b>0.99</b>	<b>0.56</b>	<b>1.36</b>	<b>1.40</b>	<b>1.98</b>	<b>0.80</b>	<b>0.53</b>	<b>0.76</b>	<b>1.24</b>	<b>1.49</b>	<b>0.72</b>
<b>B</b>	1986	23.66	26.35	26.76	29.64	28.85	25.21	26.11	21.70	24.65	24.51	26.41	24.98
	1987	25.09	26.23	27.96	28.53	29.75	25.25	24.41	25.29	25.53	25.12	25.18	25.80
	1988	24.25	26.63	27.17	29.83	30.30	26.63	24.87	24.41	23.65	25.14	26.21	26.54
	1989	25.61	25.67	26.53	26.66	28.50	26.36	26.20	25.58	24.80	24.83	26.30	24.91
	1990	25.58	26.35	28.38	30.58	29.06	26.90	25.08	26.38	24.56	24.66	25.28	24.82
	<b>Media</b>	<b>24.84</b>	<b>26.25</b>	<b>27.36</b>	<b>29.05</b>	<b>29.29</b>	<b>26.07</b>	<b>25.33</b>	<b>24.67</b>	<b>24.64</b>	<b>24.85</b>	<b>25.88</b>	<b>25.41</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>0.86</b>	<b>0.35</b>	<b>0.79</b>	<b>1.52</b>	<b>0.72</b>	<b>0.79</b>	<b>0.79</b>	<b>1.80</b>	<b>0.67</b>	<b>0.28</b>	<b>0.60</b>	<b>0.74</b>
<b>C</b>	2015									26.58	29.17	29.16	27.40
	2016	24.06	29.01	29.11	32.63	32.25	27.68	28.27	27.79	27.10	27.69	26.68	28.22
	2017	28.10	30.10	31.00	31.70	31.00	27.50	27.20	27.00	25.30	27.10	27.10	25.60
	2018	24.76	28.29	32.46	32.25	30.53	28.60	30.64	28.51	28.18	27.95	26.51	25.20
	2019	27.10	31.57	32.84	32.98	31.33	27.44	27.10	29.42	28.66	27.09		
	<b>Media</b>	<b>26.01</b>	<b>29.74</b>	<b>31.35</b>	<b>32.39</b>	<b>31.28</b>	<b>27.81</b>	<b>28.30</b>	<b>28.18</b>	<b>27.16</b>	<b>27.80</b>	<b>27.36</b>	<b>26.61</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>1.91</b>	<b>1.43</b>	<b>1.69</b>	<b>0.55</b>	<b>0.73</b>	<b>0.54</b>	<b>1.65</b>	<b>1.03</b>	<b>1.49</b>	<b>0.43</b>	<b>0.30</b>	<b>1.64</b>



## 2. Promedios mensuales de la temperatura mínima de la localidad de Cuernavaca

### TEMPERATURA MÍNIMA CUERNAVACA

Año	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
1956	8.83	12.89	14.45	15.96	15.12	14.60	14.25	14.61	14.20	14.06		12.45
1957	12.58	13.35	14.41	16.60	17.41	17.20	15.83	15.22		14.35	14.83	11.80
1958	10.25	12.10	15.48	17.83	16.87	16.46	15.58	15.38	15.70	15.96	17.93	13.35
A 1959	12.61	14.89	15.06	16.30	16.90	16.63	15.58	15.83	15.50	15.93	13.60	12.48
1960	13.54	12.72	15.16	16.18	17.51	17.76	16.51	16.48	15.68	15.74	14.30	12.35
<b>Media</b>	<b>11.56</b>	<b>13.19</b>	<b>14.91</b>	<b>16.57</b>	<b>16.76</b>	<b>16.53</b>	<b>15.55</b>	<b>15.50</b>	<b>15.27</b>	<b>15.21</b>	<b>15.17</b>	<b>12.49</b>
<b>Desv. Est</b>	<b>1.95</b>	<b>1.05</b>	<b>0.47</b>	<b>0.74</b>	<b>0.96</b>	<b>1.19</b>	<b>0.82</b>	<b>0.70</b>	<b>0.72</b>	<b>0.93</b>	<b>1.91</b>	<b>0.56</b>
1986	11.45	13.25	12.16	16.59	17.43	16.20	15.20	14.08	15.43	15.33	14.84	12.91
1987	11.91	13.14	14.93	16.48	16.98	16.60	16.66	15.90	16.86	13.80	13.38	13.64
1988	11.24	14.10	14.40	17.00	18.24	17.56	16.33	16.37	15.45	15.00	13.83	13.37
B 1989	13.45	12.03	13.50	16.16	17.32	17.01	15.98	15.85	15.95	14.00	14.80	12.53
1990	13.74	13.69	15.12	16.50	17.58	16.55	15.69	16.29	15.53	15.34	13.11	8.16
<b>Media</b>	<b>12.36</b>	<b>13.24</b>	<b>14.02</b>	<b>16.55</b>	<b>17.51</b>	<b>16.78</b>	<b>15.97</b>	<b>15.70</b>	<b>15.84</b>	<b>14.69</b>	<b>13.99</b>	<b>12.12</b>
<b>Desv. Est</b>	<b>1.16</b>	<b>0.78</b>	<b>1.22</b>	<b>0.30</b>	<b>0.46</b>	<b>0.52</b>	<b>0.57</b>	<b>0.93</b>	<b>0.61</b>	<b>0.74</b>	<b>0.80</b>	<b>2.26</b>
2015	11.79											
2016	11.79	13.03	14.32	16.71	17.77	16.05	16.06	16.19	16.08	15.56	13.25	13.54
2017	12.70	14.10	15.30	15.50	17.10	15.50	15.40	16.20	14.90	14.90	13.50	11.60
C 2018	10.90	14.35	15.96	16.73	16.78	16.35	16.64	15.48	15.61	15.58	13.75	15.95
2019	11.80	14.32	16.53	15.32	16.73	15.90	15.32	16.30	15.86	15.89		
<b>Media</b>	<b>11.80</b>	<b>13.95</b>	<b>15.53</b>	<b>16.07</b>	<b>17.10</b>	<b>15.95</b>	<b>15.86</b>	<b>16.04</b>	<b>15.61</b>	<b>15.48</b>	<b>13.50</b>	<b>13.70</b>
<b>Desv. Est</b>	<b>0.64</b>	<b>0.62</b>	<b>0.95</b>	<b>0.76</b>	<b>0.48</b>	<b>0.35</b>	<b>0.62</b>	<b>0.38</b>	<b>0.51</b>	<b>0.42</b>	<b>0.25</b>	<b>2.18</b>



### 3. Precipitación acumulada mensual en la localidad de Cuernavaca

#### PRECIPITACIÓN CUERNAVACA

	<b>Año</b>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
A	1956	0.00	18.90	0.70	27.80	160.70	256.10	177.40	111.60	213.90	27.10	0.00	0.00
	1957	0.00	11.70	0.00	2.70	38.50	227.10	103.30	157.80		43.80	6.90	0.00
	1958	114.50	22.20	0.00	4.10	81.60	287.40	464.30	218.60	258.20	163.80	175.90	22.90
	1959	14.30	0.00	0.00	35.80	25.50	277.10	184.10	203.10	98.50	180.20	8.70	0.00
	1960	16.10	0.00	0.00	1.60	13.10	208.50	268.10	178.30	246.50	105.70	0.00	0.00
	<b>Media</b>	<b>28.98</b>	<b>10.56</b>	<b>0.14</b>	<b>14.40</b>	<b>63.88</b>	<b>251.24</b>	<b>239.44</b>	<b>173.88</b>	<b>204.28</b>	<b>104.12</b>	<b>38.30</b>	<b>4.58</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>48.41</b>	<b>10.36</b>	<b>0.31</b>	<b>16.16</b>	<b>59.97</b>	<b>33.20</b>	<b>138.59</b>	<b>41.86</b>	<b>72.97</b>	<b>68.78</b>	<b>77.02</b>	<b>10.24</b>
B	1989	0.00	0.00	0.80	20.50	38.80	179.40	477.50	199.50	246.50	82.90	14.90	3.00
	1987	0.00	1.20	8.10	22.10	30.30	260.60	388.00	260.50	285.60	0.00	35.30	0.00
	1988	0.00	0.00	31.70	0.30	20.80	241.20	242.00	329.50	184.60	34.20	0.00	0.00
	1989	0.00	0.20	0.00	4.60	19.60	188.80	213.20	289.50	198.50	134.30	9.20	4.70
	1990	1.20	3.00	10.00	19.40	64.40	214.10	306.60	226.80	383.90	263.10	1.70	1.90
	<b>Media</b>	<b>0.24</b>	<b>0.88</b>	<b>10.12</b>	<b>13.38</b>	<b>34.78</b>	<b>216.82</b>	<b>325.46</b>	<b>261.16</b>	<b>259.82</b>	<b>102.90</b>	<b>12.22</b>	<b>1.92</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>0.54</b>	<b>1.29</b>	<b>12.84</b>	<b>10.14</b>	<b>18.30</b>	<b>34.29</b>	<b>108.34</b>	<b>51.13</b>	<b>80.09</b>	<b>102.91</b>	<b>14.22</b>	<b>2.02</b>
C	2015	0.00	2.90	52.50	6.80	118.20	259.20	189.40	284.60	297.60	81.40	37.60	0.00
	2016	26.20	0.60	61.20	29.70	39.10	509.00	273.70	352.70	332.00	47.40	73.90	6.20
	2017	0.00	0.00	18.10	11.40	165.80	134.20	208.60	458.90	348.60	65.20	0.00	0.00
	2018	0.00	4.10	6.70	32.50	84.10	426.60	64.50	366.20	496.50	175.10	61.20	0.00
	2019	0.00	0.51	7.20	6.50	118.02	308.31	242.02	127.62	298.43	298.92		
	<b>Media</b>	<b>5.24</b>	<b>1.62</b>	<b>29.14</b>	<b>17.38</b>	<b>105.04</b>	<b>327.46</b>	<b>195.64</b>	<b>318.00</b>	<b>354.63</b>	<b>133.60</b>	<b>43.18</b>	<b>1.55</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>11.72</b>	<b>1.78</b>	<b>25.89</b>	<b>12.71</b>	<b>46.96</b>	<b>145.91</b>	<b>80.08</b>	<b>123.23</b>	<b>82.29</b>	<b>104.75</b>	<b>32.48</b>	<b>3.10</b>



#### 4. Promedios mensuales de temperatura máxima en la localidad de Tetela del Volcán

##### TEMPERATURA MÁXIMA TETELA DEL VOLCÁN

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1986	21.33	22.92	23.16	25.88	23.05	22.15	22.69	22.74	22.70	21.97	22.23	22.26
1987	22.06	22.87	22.93	23.22	23.32	22.72	22.97	23.03	22.93	23.65	23.13	23.74
1988	22.85	23.75	23.95	25.20	23.40	24.28	24.63	23.69	23.98	23.56	23.92	23.63
B 1989	24.20	24.73	24.85	26.00	25.16	24.42	24.58	24.08	23.88	24.13	24.58	24.23
1990	20.06	21.44	23.59	25.47	25.47	26.38	26.47	22.40	21.98	18.84	20.02	21.87
<b>Media</b>	<b>22.10</b>	<b>23.14</b>	<b>23.70</b>	<b>25.15</b>	<b>24.08</b>	<b>23.99</b>	<b>24.27</b>	<b>23.19</b>	<b>23.10</b>	<b>22.43</b>	<b>22.78</b>	<b>23.14</b>
<b>Desv. Est</b>	<b>1.56</b>	<b>1.22</b>	<b>0.76</b>	<b>1.13</b>	<b>1.14</b>	<b>1.66</b>	<b>1.52</b>	<b>0.69</b>	<b>0.84</b>	<b>2.17</b>	<b>1.78</b>	<b>1.02</b>
2015	20.31	22.14		25.16	22.80	21.30	21.67	22.67	19.89	21.19	21.53	21.41
2016	18.25	22.17	28.50	25.36	25.29	21.43	21.45	20.83	20.00	21.00	21.00	22.19
2017	24.90	26.60	27.30	27.00	27.00	22.48	22.50	22.20	22.00	22.50	24.90	24.48
C 2018	23.40	26.40	28.50	27.10	27.00	22.50	22.50	22.20	22.00	22.50	24.90	24.48
2019	21.75	24.04	25.57	26.00	26.64	21.54	21.30	21.89	20.65	20.18	20.75	
<b>Media</b>	<b>21.72</b>	<b>24.27</b>	<b>27.47</b>	<b>26.12</b>	<b>25.75</b>	<b>21.85</b>	<b>21.88</b>	<b>21.96</b>	<b>20.91</b>	<b>21.47</b>	<b>22.62</b>	<b>23.14</b>
<b>Desv. Est</b>	<b>2.60</b>	<b>2.18</b>	<b>1.39</b>	<b>0.90</b>	<b>1.79</b>	<b>0.59</b>	<b>0.58</b>	<b>0.69</b>	<b>1.04</b>	<b>1.01</b>	<b>2.10</b>	<b>1.58</b>



5. Promedios mensuales de la temperatura mínima de la localidad de Cuernavaca

TEMPERATURA MÍNIMA TETELA DEL VOLCÁN

	<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
	1986	1.32	3.01	2.69	6.58	9.27	10.03	8.24	8.70	7.88	6.89	4.98	5.24
	1987	1.00	1.14	5.70	6.73	7.85	10.23	9.32	8.58	9.16	4.62	3.73	3.30
	1988	1.95	3.84	6.69	6.36	7.85	8.35	8.03	8.82	7.17	7.01	1.41	1.32
B	1989	5.96	3.36	6.43	6.90	7.12	6.53	7.33	6.46	5.95	6.11	6.76	5.11
	1990	8.06	9.42	9.74	11.80	12.30	12.68	11.79	11.37	11.26	10.85	8.75	3.85
	<b>Media</b>	<b>3.66</b>	<b>4.15</b>	<b>6.25</b>	<b>7.67</b>	<b>8.88</b>	<b>9.56</b>	<b>8.94</b>	<b>8.79</b>	<b>8.28</b>	<b>7.10</b>	<b>5.13</b>	<b>3.76</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>3.17</b>	<b>3.12</b>	<b>2.52</b>	<b>2.32</b>	<b>2.07</b>	<b>2.29</b>	<b>1.74</b>	<b>1.74</b>	<b>2.03</b>	<b>2.30</b>	<b>2.81</b>	<b>1.60</b>
	2015	6.16	6.46	9.03	10.33	11.41	11.86	11.19	11.12	11.70	10.67	10.36	7.77
	2016	6.80	5.86	8.35	9.73	11.83	11.60	11.12	11.71	11.30	9.77	8.73	7.64
	2017	7.70	8.50	9.90	10.60	12.80	1.38	11.50	11.90	12.23	10.60	9.00	7.89
C	2018	7.00	9.50	10.80	10.60	12.80	12.40	11.50	11.90	12.20	10.60	9.00	7.89
	2019	5.55	7.48	8.92	9.50	11.57	12.68	11.50	11.65	11.52	11.51	10.71	
	<b>Media</b>	<b>6.64</b>	<b>7.56</b>	<b>9.40</b>	<b>10.15</b>	<b>12.08</b>	<b>9.98</b>	<b>11.36</b>	<b>11.66</b>	<b>11.79</b>	<b>10.63</b>	<b>9.56</b>	<b>7.80</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>0.82</b>	<b>1.48</b>	<b>0.96</b>	<b>0.51</b>	<b>0.67</b>	<b>4.83</b>	<b>0.19</b>	<b>0.32</b>	<b>0.41</b>	<b>0.62</b>	<b>0.91</b>	<b>0.12</b>



6. Precipitación acumulada mensual en la localidad de Cuernavaca

PRECIPITACIÓN TETELA DEL VOLCÁN

	<i>Año</i>	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
	1986	0.00	0.00	0.00	71.80	188.70	182.60	120.80	230.00	113.30	56.00	38.00	5.20
	1987	0.00	0.00	4.00	49.00	20.00	254.00	221.30	66.00	177.50	6.00	15.00	0.00
	1988	0.00	0.00	20.50	0.00	27.50	312.60	288.80	312.00	147.50	79.00	0.00	1.00
B	1989	0.00	0.00	1.50	6.40	69.50	97.50	145.00	215.50	175.50	155.00	18.50	11.50
	1990	6.40	6.60	15.70	46.40	168.10	219.00	253.20	74.80	224.80	171.50	64.00	0.00
	<b>Media</b>	<b>1.28</b>	<b>1.32</b>	<b>8.34</b>	<b>34.72</b>	<b>94.76</b>	<b>213.14</b>	<b>205.82</b>	<b>179.66</b>	<b>167.72</b>	<b>93.50</b>	<b>27.10</b>	<b>3.54</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>2.86</b>	<b>2.95</b>	<b>9.18</b>	<b>30.51</b>	<b>78.98</b>	<b>80.47</b>	<b>71.23</b>	<b>106.36</b>	<b>41.18</b>	<b>69.17</b>	<b>24.67</b>	<b>4.94</b>
	2015	0.00	1.50	70.80	4.00	125.50	294.70	93.70	151.20	252.40	76.10	63.90	0.00
	2016	41.40	5.00	81.50	61.10	52.00	355.10	257.90	189.10	231.60	80.00	11.20	0.30
	2017	0.00	0.00	4.00	19.80	81.40	194.30	221.50	348.80	307.60	43.80	0.00	0.00
C	2018	0.00	0.00	4.00	19.80	81.40	194.30	221.50	348.80	307.60	43.80	0.00	0.00
	2019	0.00	0.00	4.20	0.00	27.32	267.87	211.34	227.07	170.52	167.28	20.54	
	<b>Media</b>	<b>8.28</b>	<b>1.30</b>	<b>32.90</b>	<b>20.94</b>	<b>73.52</b>	<b>261.25</b>	<b>201.19</b>	<b>252.99</b>	<b>253.94</b>	<b>82.20</b>	<b>19.13</b>	<b>0.08</b>
	<b>Desv. Est</b>	<b>18.51</b>	<b>2.17</b>	<b>39.66</b>	<b>24.19</b>	<b>36.82</b>	<b>68.80</b>	<b>62.65</b>	<b>91.48</b>	<b>57.49</b>	<b>50.57</b>	<b>26.46</b>	<b>0.15</b>

